



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“DESARROLLO DE UN MODELO DE MANTENIMIENTO
BASADO EN EL MÉTODO JACK KNIFE PARA
PRIORIZACIÓN DE EQUIPOS, TOMA DE DECISIONES EN
COSTOS DE CICLO DE VIDA Y TIEMPO ÓPTIMO DE
REEMPLAZO”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR:

DARÍO FERNANDO ALLAUCA NARANJO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“DESARROLLO DE UN MODELO DE MANTENIMIENTO
BASADO EN EL MÉTODO JACK KNIFE PARA
PRIORIZACIÓN DE EQUIPOS, TOMA DE DECISIONES EN
COSTOS DE CICLO DE VIDA Y TIEMPO ÓPTIMO DE
REEMPLAZO”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR: DARÍO FERNANDO ALLAUCA NARANJO

DIRECTOR: Ing. CÉSAR MARCELO GALLEGOS LONDOÑO.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Darío Fernando Allauca Naranjo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Darío Fernando Allauca Naranjo, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de enero del 2022



Darío Fernando Allauca Naranjo

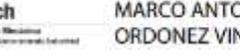
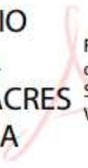
060380574-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de integración curricular; tipo: Proyecto Técnico, **DESARROLLO DE UN MODELO DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL MÉTODO JACK KNIFE PARA PRIORIZACIÓN DE EQUIPOS, TOMA DE DECISIONES EN COSTOS DE CICLO DE VIDA Y TIEMPO ÓPTIMO DE REEMPLAZO**, realizado por el señor: **DARÍO FERNANDO ALLAUCA NARANJO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marco Vinicio Ordoñez Viñan. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 epoch Facultad de Mecánica Servicio de Mantenimiento Industrial  MARCO ANTONIO ORDONEZ VINAN	2022-01-20
Ing. César Marcelo Gallegos Londoño DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: CESAR MARCELO GALLEGOS LONDONO 	2022-01-20
Ing. Sergio Raúl Villacrés Parra MIEMBRO DEL TRIBUNAL	SERGIO RAUL VILLACRES PARRA Firmado digitalmente por SERGIO RAUL VILLACRES PARRA 	2022-01-20

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado de manera especial a Maritza Naranjo, mi madre quien es merecedora de este logro quien siempre supo guiarme con sus consejos para cumplir con mis objetivos y luchar por lo que uno quiere conseguir en la vida, permitiéndome ser ahora un profesional gracias a la educación que me inculco desde niño y me dio la mejor herencia que una madre puede dar a un hijo que es el estudio.

Darío Allauca

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios quien siempre me dio fuerzas para culminar el presente trabajo, al Ingeniero César Gallegos quien desde la concepción del tema siempre tuvo la predisposición de colaborar en el desarrollo de mi tema, de la misma manera a mi esposa Elizabeth e hija Melany quienes con su apoyo permitieron llegar a la meta de ser Ingeniero.

De manera especial a mis hermanas y sobrino quienes son parte importante también de este logro.

Darío Allauca

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
SUMMARY	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
1. GENERALIDADES.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Justificación y actualidad	3
1.3 Problema	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	5
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
1.5 Consideraciones técnicas y tecnológicas.....	6
CAPÍTULO II	7
2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	7
2.1 Gestión del mantenimiento.....	7
2.1.1 <i>Tipos de Mantenimiento</i>	7
2.1.1.1 <i>Mantenimiento correctivo</i>	7
2.1.1.2 <i>Mantenimiento preventivo</i>	7
2.1.1.3 <i>Mantenimiento predictivo</i>	8
2.1.2 <i>Indicadores de mantenimiento</i>	8
2.1.2.1 <i>Disponibilidad</i>	8
2.1.2.2 <i>Tiempo medio entre fallas</i>	9
2.1.2.3 <i>Tiempo medio para reparar</i>	10
2.1.2.4 <i>Costo global de mantenimiento</i>	10
2.1.2.5 <i>Mantenibilidad</i>	11
2.1.2.6 <i>Confiabilidad</i>	13
2.1.2.7 <i>Tasa de fallos</i>	13
2.2 Priorización de equipos	13
2.2.1 Método Jack Knife	14
2.2.1.1 <i>Método frecuencia-indisponibilidad</i>	16

2.2.1.2	<i>Método tasa de fallos-tiempo medio para reparar-indisponibilidad.....</i>	17
2.2.1.3	<i>Método de dispersión de costos</i>	18
2.3	<i>Modelo de confiabilidad.....</i>	19
2.3.1	<i>Tasa de fallos</i>	20
2.3.2	<i>Modelo de Weibull.....</i>	21
2.3.2.1	<i>Estimación de parámetros de Weibull</i>	21
2.4	Costo de ciclo de vida según UNE EN 600300-3-3.....	24
2.4.1	<i>Costo de ciclo de vida</i>	24
2.4.1.1	<i>Tiempo óptimo de replazo.</i>	25
CAPÍTULO III.....		26
3.	DISEÑO DEL MODELO DE MANTENIMIENTO	26
3.1	Elaboración de plantillas para ingreso de datos técnicos de equipos.....	26
3.1.1	<i>Elaboración de la plantilla para el ingreso de historial de fallos.</i>	28
3.1.2	<i>Cálculo de los indicadores a través de la distribución de Weibull.....</i>	31
3.1.2.1	<i>Desarrollo de la plantilla para el cálculo de la distribución de Weibull.</i>	31
3.1.3	<i>Desarrollo del método de Jack Knife</i>	39
3.1.3.1	<i>Cálculo de Jack Knife a nivel de fallas.</i>	39
3.1.4	<i>Método de dispersión de costos a nivel de sistemas para el banco de molienda MDDP 4 cilindros.</i>	44
3.2	Cálculo del costo de ciclo de vida y tiempo óptimo de replazo.	50
3.2.1	<i>Tiempo óptimo de replazo.</i>	52
CAPÍTULO IV		55
4.	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	55
4.1	Propuestas de priorización de tareas para fallas a través del método de Jack Knife.	55
4.2	Propuesta de priorización de sistemas a través del método Jack Knife.....	56
4.3	Propuesta de priorización de fallas a través del diagrama de dispersión de costos.....	58
CONCLUSIONES		
RECOMENDACIONES		
BIBLIOGRAFIA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Interpretación de los fallos de equipos en los cuatro cuadrantes.	14
Tabla 2-2:	Comportamiento de la tasa de fallos según la etapa.	20
Tabla 3-2:	Características del parámetro de forma beta según los diferentes valores.	21
Tabla 4-2:	Rango de las medianas según el tamaño de la muestra.	23
Tabla 1-3:	Historial de actividades de mantenimiento preventivo.	29
Tabla 2-3:	Historial de actividades de mantenimiento correctivo.	30
Tabla 3-3:	Cálculo de confiabilidad a través de la distribución de Weibull.	33
Tabla 4-3:	Parámetros de Weibull para banco de molienda MDDP con funciones de Excel.	34
Tabla 4-3:	Cálculo de la mantenibilidad, banco de molienda MDDP.	38
Tabla 5-3:	Parámetros de Weibull para el cálculo de la mantenibilidad.	38
Tabla 6-3:	Cálculo de JACK KNIFE a nivel de fallas.	40
Tabla 7-3:	Cálculo de los límites de indicadores.	42
Tabla 7-3:	Datos de producción del proceso de producción de harina.	44
Tabla 8-3:	Prestaciones del departamento de mantenimiento.	44
Tabla 9-3:	Componentes salariales del departamento de mantenimiento.	44
Tabla 10-3:	Cálculo de la mano de obra directa de mantenimiento.	45
Tabla 11-3:	Cálculo de costo de materiales y repuestos para cada sistema.	45
Tabla 12-3:	Cálculo del costo de intervención.	46
Tabla 13-3:	Cálculo de costo de intervención, banco de molienda MDDP 4 cilindros.	48
Tabla 14-3:	Cálculo de costos global y específico a nivel de fallas.	49
Tabla 15-3:	Tiempo óptimo de replazo en función del valor mínimo de costo total.	54
Tabla 1-4:	Nivel de priorización de fallas, banco de molienda MDDP 4 cilindros.	55
Tabla 2-4:	Propuesta de mejora de acuerdo al nivel de priorización.	56
Tabla 3-4:	Nivel de priorización de sistemas, banco de molienda MDDP 4 cilindros.	56
Tabla 4-4:	Propuesta de mejora de acuerdo al nivel de priorización del diagrama de costos.	57
Tabla 5-4:	Nivel de priorización de fallas, banco de molienda MDPP 4 cilindros.	58
Tabla 6-4:	Propuesta de mejora de acuerdo al nivel de priorización del diagrama de costos.	59
Tabla 7-4:	Nivel de priorización de sistemas a través del diagrama de dispersión de costos.	59
Tabla 8-4:	Propuesta de mejora de acuerdo al nivel de priorización de diagrama de costos.	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Representación de la disponibilidad en función de MTBF y MTTR.	8
Figura 2-2:	Cálculo del costo global en función de costos global específico.	11
Figura 3-2:	Función de la mantenibilidad a través del tiempo.....	12
Figura 4-2:	Método frecuencia indisponibilidad	17
Figura 5-2:	Método MTTR-Tasa de fallos-Indisponibilidad.....	17
Figura 6-2:	Método de dispersión de costos.....	19
Figura 7-2:	Función de densidad y acumulada con tiempos para fallar.....	19
Figura 8-2:	Fases del ciclo de vida de un activo.....	20
Figura 9-2:	Tasa de fallos en la distribución de Weibull.....	21
Figura 1-3:	Base de datos de equipos con imagen.....	26
Figura 2-3:	Formulario de ingreso automático de datos de equipos.	27
Figura 3-3:	Formulario de ingreso automático de datos de equipos del caso de estudio.	27
Figura 4-3:	Botones para acceso automático.....	28
Figura 5-3:	Datos técnicos del equipo para el cálculo de la confiabilidad.....	31
Figura 6-3:	Parámetros α y β para el cálculo de la distribución de Weibull.	32
Figura 7-3:	Plantilla para el cálculo de la confiabilidad a través de Weibull.....	32
Figura 8-3:	Selección escala logarítmica.....	41
Figura 9-3:	Método Jack Knife a nivel de sistema de banco de molienda MDDP 4 cilindros	43
Figura 10-3:	Diagrama de dispersión de costos a nivel de sistema, banco de molienda MDDP 4 cilindros	47
Figura 11-3:	Cálculo de costo de ciclo de vida, banco de molienda MDDP de 4 cilindros.	51
Figura 12-3:	Cálculo del tiempo óptimo de replazo, banco de molienda MDDP 4 cilindros.	53

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Diagrama de JACK KNIFE a nivel de equipos.....	14
Gráfico 1-3:	Linealización para tiempos entre fallas banco de molienda MDDP.....	34
Gráfico 2-3:	Función de densidad de tiempos entre fallos, banco de molienda MDDP.....	35
Gráfico 3-3:	Función acumulada de tiempos entre fallos, banco de molienda MDDP.	35
Gráfico 4-3:	Confiabilidad y desconfiabilidad, banco de molienda MDDP.	36
Gráfico 5-3:	Tasa de fallos para los tiempos entre fallos, banco de molienda MDDP.....	36
Gráfico 6-3:	Linealización para los tiempos totales de reparación.	37
Gráfico 7-3:	Mantenibilidad en función de los tiempos totales de reparación.....	39
Gráfico 8-3:	Diagrama de Jack Knife a nivel de fallas.	41
Gráfico 9-3:	Diagrama de dispersión de costos de fallas, banco de molienda MDDP 4 cilindros.	50
Gráfico 10-3:	Tiempo óptimo de remplazo, banco de molienda MDDP 4 cilindros.	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Datos técnicos de la máquina.

ANEXO B: Tablas dinámicas de cálculo de horas de mantenimiento preventivo y correctivo.

ANEXO C: Tablas dinámicas de cálculo de costos de mantenimiento preventivo y correctivo.

ANEXO D: Historial de fallas de mantenimiento preventivo y correctivo.

RESUMEN

El presente trabajo técnico tuvo como objetivo desarrollar un modelo de mantenimiento que permitió analizar el historial de fallas de un activo a través del método de Jack Knife el cual realizó una priorización de equipos, para lo cual se tuvo la necesidad de calcular en primer lugar la confiabilidad y mantenibilidad del historial de fallas, datos importantes utilizados en el método de priorización que analizó el comportamiento de las fallas en función del promedio de la Tasa de fallos, Tiempo medio para reparar y la indisponibilidad siendo estos los límites que permiten identificar si una falla es, crítica, aguda, critica-aguda y leve de acuerdo al cuadrante de ubicación en la gráfica y tomar decisiones en función del tiempo de inactividad del equipo o componente. Posteriormente el método Jack Knife se llevó a analizar los fallos en función de los costos, para el cual se propone el diagrama de dispersión de costos que evaluó la indisponibilidad en función de los costos globales y costos globales específicos, que conformaron los costos de intervención y costos de falla que relaciona netamente a producción y mantenimiento. Finalmente obtenidos los datos de horas y costos se realizó el cálculo de costo de ciclo de vida que conforma los costos de adquisición, costos de operación-mantenimiento y desincorporación evaluado en un tiempo de vida útil de 8 años, determinando el tiempo óptimo de reemplazo, consiguiendo así una herramienta estadística que diagnostica de una manera más precisa el estado actual de los equipos en función de su historial de fallos, siendo un material de pruebas y análisis de equipos para darle un enfoque diferente a la Fiabilidad de máquinas en técnicas determinísticas aplicado los costos y el mantenimiento de sistemas, equipos y componentes según la profundidad de los datos.

Palabras clave: <MÓDULO DE MANTENIMIENTO>, <MÉTODO JACK KNIFE>, <TASA DE FALLOS>, <COSTO DE CICLO DE VIDA>, <COSTOS DE MANTENIMIENTO>.

0976-DBRA-UPT-2022



SUMMARY

The objective of this technical work was to develop a maintenance model that could analyze the failure history of an asset through the Jack Knife method, which carried out a prioritization of equipment. First, it was necessary to calculate the reliability and maintainability of the failure history, important data used in the prioritization method that analyzed the behavior of failures based on the average failure rate, average time to repair and unavailability. These were the limits that allow identifying whether a failure is, critical, acute, critical-acute and slight, according to the location quadrant in the graph and make decisions based on the equipment or component downtime. Subsequently, the failures were analyzed based on the costs, for which the cost dispersion diagram is proposed. It evaluates the unavailability based on the global costs and specific global costs, which made up the intervention costs and failure costs that are clearly related to production and maintenance. Finally, data on hours and costs were obtained, the calculation of the life cycle cost was carried out, which makes up the acquisition costs, operation-maintenance costs and disincorporation evaluated in a useful life of 8 years. Determining the optimal replacement time, obtaining thus, a statistical tool that diagnoses in a more precise way the current state of the equipment based on its history of failures. These were material for tests and analysis of equipment to give a different approach to the reliability of machines in deterministic techniques applied to costs and the maintenance of systems, equipment and components according to the depth of the data.

Keywords:<MAINTENANCE MODULE>, <JACK KNIFE METHOD>, <FAILURE RATE>, <LIFE CYCLE COST>, <MAINTENANCE COSTS>.



Sandra Paulina Porras Pumalema
C.I. 0603357062

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo técnico propone desarrollar un modelo de análisis de priorización de equipos a través del método de Jack Knife, llamado también diagrama de dispersión logarítmica que evalúa el historial de fallas en tres parámetros, permitiendo dar un estudio más profundo y determinar que sistemas, equipos o componentes son más críticos (Knights, 2004, p. 15), logrando superar las deficiencias que tiene el diagrama de Pareto que evalúa en dos parámetros.

El método se centra en evaluar el tiempo de inactividad por actividades de mantenimiento correctivas que ocasionan paradas de planta reduciendo así la disponibilidad del equipo, sistema o componente, pero no es el único cálculo posible ya que se presenta un análisis en función de los costos globales por fallas y equipos que es más conocido como el diagrama de dispersión de costos que relaciona a la indisponibilidad con los costos globales y específicos.

De esta manera Jack Knife se le puede denominar como un análisis para la priorización de equipos críticos a diferentes niveles jerárquicos, dependiendo la profundidad del análisis que se pretende alcanzar respecto a los datos que se obtenga del historial de fallas o base de datos.

Así con datos históricos se puede complementar un análisis acerca del costo de ciclo de vida y determinar el tiempo óptimo de replazo a través de datos de adquisición del equipo, operación y mantenimiento, que estos análisis representan en este caso particular saber si es económicamente y técnicamente recomendable mantener al equipo en funcionamiento o desincorporar de la línea de producción.

Con este modelo de mantenimiento alcanzar una nueva perspectiva para evaluar modos de falla y proponer mejoras que reduzcan la probabilidad de falla, aumentando la disponibilidad y así reducir los costos de mantenimiento por intervención y por falla que afectan al precio final del producto que muchas empresas siempre pretenden sea el acorde para competir en el mercado industrial.

De esta manera y con los resultados técnicos y económicos poder establecer el costo de ciclo de vida de acuerdo a una actividad específica, que en este caso sería las políticas de mantenimiento que influyen directamente en la producción la cual se ve afectada por paradas largas de actividades correctivas (EN 60300-3-3, 2009, p. 9).

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

La complejidad de máquinas o equipos es cada vez más avanzada en busca de satisfacer las necesidades económicas de las empresas y sus procesos productivos, de esta manera se debe asegurar que la disponibilidad sea lo más alta para generar productos finales a un bajo costo (Vílchez-Torres, 2020, p. 1), es así que el departamento de mantenimiento debe asegurar que este indicador se mantenga creciente, para esto se emplea una serie de técnicas que permiten analizar el estado actual de las máquinas en función de su historial de fallos.

La criticidad de equipos dentro un proceso productivo cumple una función primordial para la organización, determinando cuales activos representan mayor costo en producción y mantenimiento, criterios para priorizar que activos deben tener mayor importancia, se lo ha desarrollado por técnicas estadísticas que permiten al departamento de mantenimiento centrar su atención para evaluar los modos de falla en función del tiempo.

Para determinar que equipos son más críticos para una empresa dentro del mantenimiento, se ha encontrado que mediante el método de Pareto se puede jerarquizar que sistema, equipo o componente, representa un mayor costo por indisponibilidad, reparación y tiempo de puesta en marcha después de la reparación, en función del número de fallas u horas de parada (Sc, Carlos y Bonet, 2005, p. 1).

Los resultados obtenidos pueden priorizar varios sistemas, equipos o componentes como críticos, pero, no determinamos cuales son de mayor importancia dentro del proceso productivo que permita asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

El método de Jack Knife o diagrama de dispersión logarítmica como estimador cuantitativo de sistemas, equipos o componentes en función de indicadores claves del desempeño, se ha utilizado para establecer la priorización de equipos mediante el análisis gráfico de los resultados obtenidos , en el cual presenta cuatro clases de equipos en función de los límites de confiabilidad, mantenibilidad e indisponibilidad: equipos agudos-crónicos, crónicos, agudos y bajo control consiguiendo así delimitar cada tipo de activo según historial de fallos para la toma de decisiones (Vílchez-Torres,2020, p. 2).

Cada sistema, equipo o componente que se ubique en cada cuadrante del diagrama, representa una importancia propia al proceso productivo, pero nos enfocamos en los cuales están fuera de los tres límites establecidos (agudos-crónicos) (Durán et al., 2019, p. 6).

Para el análisis del costo del ciclo de vida existen muchos modelos matemáticos que permiten calcular y determinar parámetros en los cuales analizar en qué etapa de su ciclo de vida se encuentra maximizando la actividad de mantenimiento (Pascual, 2008, p. 45), permitiendo completar un estudio a fondo desde la priorización de los equipos hasta alcanzar la toma de decisiones del tiempo óptimo de remplazo de un activo y las medidas necesarias a tomar si continua en funcionamiento.

1.2 Justificación y actualidad

Como una política establecida en las industrias, el departamento de mantenimiento utiliza muchas herramientas y metodologías de análisis de datos para asegurar la disponibilidad (Londoño, Freire y Cuzco, 2018, p. 2), de esta manera se cuenta con un diagnóstico periódico del estado de los activos.

El presente trabajo se alinea a un proyecto técnico, ya que al proponer un modelo de mantenimiento que permita analizar datos de falla servirá como herramienta experimental en diferentes eventos según los datos obtenidos de equipos y ajustados a la metodología de priorización de equipos se evidenciará que dentro de una planta hay equipos críticos, pero se diferencian de acuerdo a su impacto económico y productivo.

Conjugar los indicadores dentro de un método de priorización de equipos conocido como Jack Knife permite que la precisión en los resultados determine que equipos son más críticos y poder evaluar cuanto afecta en temas de producción dentro de la empresa (David Silva Pacheco, 2018, p. 16), recurriendo así a la utilización de la estadística para establecer lineamientos de mejora y en base a estos resultados, tomar decisiones de acuerdo al costo de ciclo de vida y tiempo óptimo de remplazo de un equipo.

Calcular los costos de ciclo de vida contribuye a que la gestión de mantenimiento desde la adquisición del equipo hasta su desincorporación, se logre alcanzar los objetivos planeados, tener claro los costos que intervienen a lo largo de la vida útil y evaluar cómo cambian éstos en función del tiempo (Pascual, 2008, p. 73).

Desarrollar modelos de mantenimiento o aplicativos sin la necesidad de ser un experto en el lenguaje de programación, hace que se recurra a herramientas validas como el Excel, mediante

una lógica secuencial diseñar plantillas automáticas que permitan calcular métodos estadísticos numéricos y gráficos para el respectivo análisis y su toma de decisiones en función de los resultados obtenidos.

En la actualidad el área de confiabilidad se ha separado del departamento de mantenimiento ya que sus funciones son muy diferentes, el técnico de mantenimiento se encarga de cumplir con actividades de inspección, monitoreo y reparación en función del plan de mantenimiento establecido por el Planificador de mantenimiento, en este caso este profesional se encarga de analizar datos históricos de fallas en equipos que le permitan tomar decisiones para reducir tiempos para reparar, por el deterioro de equipos o componentes.

Para lo cual contar con una herramienta informática que le permita organizar, calcular, analizar y tomar decisiones de los resultados obtenidos, intervendrá directamente en mejorar la disponibilidad y asegurar que los equipos sean remplazados en los rangos apropiados para que a la empresa no le represente un costo elevado (Morales Retamal, 2017, p. 14), de esta manera se llevara un control apropiado de los activos y de las tareas de mantenimiento que se planifique hacer, al igual que registrar los correctivos presentados, de esta manera si se es más efectivo y eficaz al realizar acciones correctivas, se minimizarán los tiempos de intervención y se incrementará la disponibilidad (Londoño, Freire y Cuzco 2018, p. 2), para esto se debe registrar toda actividad realizada sin pasar por alto ninguna acción que pueda alterar los datos para el respectivo análisis de confiabilidad.

1.3 Problema

La jerarquización de sistemas, equipos o componentes, está limitada por la falta de información de metodologías que permiten que los resultados sean más precisos y se pueda determinar cuál activo es más crítico y representa mayor valor agregado a una organización, por tal motivo, no siempre existe una disponibilidad alta en la planta, ya que al dar la misma importancia a todos los equipos no se da el tratamiento más profundo al activo que ocasiona paradas de planta, tiempos largos de reparación y tiempos fuera de servicio (Sc, Carlos y Bonet, 2005, p. 1).

Interviniendo estas consecuencias directamente en tema de costos que afectan a la productividad, ya que, al trabajar con una tasa de fallos constantes, también aumentan el costo del producto terminado (Morales Retamal, 2017, p.15), ocasionando que el único responsable sea el departamento de mantenimiento, no asegurar la disponibilidad y confiabilidad requerida para un funcionamiento óptimo de los activos con el mínimo por paradas imprevistas.

El desconocimiento de herramientas gráficas como Pareto y Jack Knife, factores claves dentro del análisis de confiabilidad de equipos, que determinan la priorización, en función de números de fallas y tiempos de parada, esto permitirá poder evaluar el estado de las máquinas en función de estadísticos, que permitan jerarquizar de acuerdo a los impactos que tienen cuando fallan, relacionándolo con costos y producción (Rojas Fernández, 2019, p. 2), de esta manera tener indicadores que permitan priorizar equipos que representan un valor agregado alto para la empresa y para estimar el costo del producto final

Dentro de la carrera de Mantenimiento Industrial, se gradúan alrededor de 10 profesionales al año, los cuales tienen pocas oportunidades de ocupar puestos de planificadores, ya que la poca preparación en temas de confiabilidad asociado con herramientas estadísticas hace que su alcance sean únicamente trabajos de campo (reparaciones, mantenimientos preventivos), de esta manera el profesional debe estar preparado para desarrollar herramientas informáticas que le permita competir dentro del área de la confiabilidad de equipos, así elevar el nivel de competencia en el campo laboral en donde desarrolla sus capacidades y presta sus servicios el profesional de mantenimiento.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general*

Desarrollar un modelo de mantenimiento basado en el método Jack Knife para priorización de equipos, toma de decisiones en costos de ciclo de vida y tiempos óptimos de replazo.

1.4.2 *Objetivos específicos*

Desarrollar el marco teórico respecto a los criterios del método de Jack Knife para la priorización de equipos, cálculo del costo de ciclo de vida y tiempos óptimos de replazo.

Analizar mediante la distribución de Weibull el historial de fallos de los resultados obtenidos del análisis de priorización.

Diseñar el análisis de priorización a través del método de Jack Knife, en un modelo automatizado en la hoja de cálculo de Excel, plantillas automatizadas para el ingreso del historial de fallos del caso de estudio de Banco de Molienda “BUHULER” MDDP-4 cilindros.

Calcular los costos de ciclo de vida y tiempo óptimo de remplazo asociados con el método de Jack Knife.

Establecer propuestas de mejora con los resultados alcanzado en tiempos óptimos de remplazo.

1.5 Consideraciones técnicas y tecnológicas

En el desarrollo del aplicativo de Excel, se considerarán como aporte estudios previos ya realizados en otros softwares estadísticos, al igual el cálculo de indicadores de Tiempo medio entre fallas, tiempo medio para reparar, indisponibilidad para diseñar el método de Jack Knife.

La investigación acerca del uso de Excel para ingenieros será útil para desarrollar plantillas avanzadas para que la interfaz del aplicativo sea interactiva y se pueda realizar el análisis de una forma eficiente, diseñando plantillas interactivas que permitan el ingreso de datos al igual que tablas que sean fáciles de interpretar los datos con gráficos bien detallados para su análisis, con un formulario de ingreso de datos con algunas líneas de código en el entorno VBA para automatizar la plantilla de datos.

El uso del internet como fuente de consulta en temas específicos de análisis de confiabilidad y el uso de Excel para análisis estadístico serán primordiales para desarrollar un sistema automatizado y secuencial al ingresar los datos.

El cálculo del ciclo de vida y tiempos óptimos de remplazo se buscará en artículos científicos al igual que en tesis, para elaborar un cuadro de resultados que se pueda evidenciar los cálculos y poder dar a conocer las propuestas de mejora, así también se pretende realizar la revisión bibliográfica respectiva de libros tradicionales que asocian al mantenimiento con costos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Gestión del mantenimiento

Según la norma europea UNE-EN 13306:2018 define al mantenimiento como:

Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida (UNE-EN 13306, 2018, p. 6)

El mantenimiento de acuerdo a las necesidades del sector industrial que se encuentre y a los equipos a mantener puede ajustar sus técnicas de control, monitoreo y ejecución en función de un análisis de las condiciones iniciales o actuales que se encuentren los activos, de tal manera la gestión de mantenimiento planea abarcar todos los recursos (Mora Gutiérrez, 2009, p. 19), ahorrando el mayor de los recursos, permitiendo que las actividades de mantenimiento no sean costosas por mala planificación del departamento de mantenimiento.

Todas las actividades de la gestión que determinan los requisitos, los objetivos, las estrategias y las responsabilidades del mantenimiento y la implantación de dichas actividades por medios tales como la planificación del mantenimiento, el control de este y la mejora de las actividades de mantenimiento y las cuestiones económicas (UNE-EN 13306, 2018, p. 7).

2.1.1 *Tipos de Mantenimiento*

2.1.1.1 *Mantenimiento correctivo*

Mantenimiento que se realiza después del reconocimiento de una avería y que está destinado a poner a un elemento en un estado en que pueda realizar una función requerida (UNE-EN 13306, 2018, p. 17).

2.1.1.2 *Mantenimiento preventivo*

Mantenimiento llevado a cabo para evaluar y/o mitigar la degradación y reducir la probabilidad de fallo de un elemento (UNE-EN 13306, 2018, p. 16).

2.1.1.3 *Mantenimiento predictivo*

Mantenimiento basado en la condición que se realiza siguiendo una predicción obtenida del análisis repetido o de características conocidas y de la evaluación de los parámetros significativos de la degradación del elemento (UNE-EN 13306, 2018, p. 16).

2.1.2 *Indicadores de mantenimiento*

Para que la gestión de mantenimiento obtenga éxitos en sus actividades, debe permanecer evaluando sus indicadores de mantenimiento que permitan determinar cuáles son los aspectos que influyen si existe problemas de funcionamiento en equipos, paradas de planta, repuestos.(Rojas Fernández, 2019, p. 9), así se tiene siempre monitoreado, si la gestión está encaminada correctamente o se debe reajustar los planes de mantenimiento, las técnicas de monitoreo, capacitación y servicios externos.

2.1.2.1 *Disponibilidad*

De acuerdo a los datos la disponibilidad se la puede definir como:

Como la confianza de que un equipo u/o máquina que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir (Rojas Fernández, 2019, p. 10), de esta manera se puede interpretar que la disponibilidad busca ser siempre la más alta tomando en cuenta recursos de mantenimiento y producción.

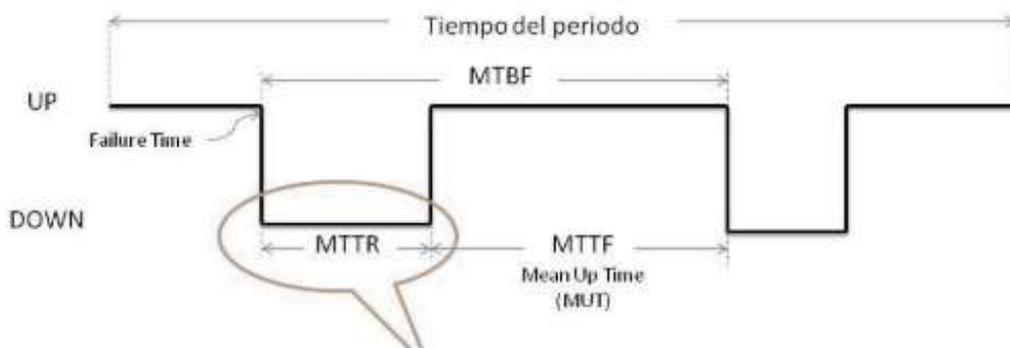


Figura 1-2: Representación de la disponibilidad en función de MTBF y MTTR.

Fuente: (Morales Retamal, 2017, p. 37)

Matemáticamente se puede calcular:

$$D = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF} * 100 \quad (1)$$

Donde:

D: Disponibilidad [%]

MTBF: Tiempo promedio para la falla [Hrs]

MTTR: Tiempo promedio para reparar [Hrs] (Morales Retamal, 2017, p. 37).

Atribuyendo este concepto en la ecuación (1) a la de disponibilidad intrínseca o inherente que (Mora Gutiérrez, 2009, p. 80-81), expone como:

“La probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente cuando se requiere en cualquier tiempo, bajo las condiciones de operación especificadas y con un entorno ideal de soporte logístico, es decir, con la disponibilidad adecuada de personal, repuestos, herramientas, equipos de prueba y demás, sin considerar demora alguna, logística o administrativa.”

2.1.2.2 Tiempo medio entre fallas

Para el índice de clase mundial, Tiempo medio entre fallas se determina a partir de los tiempos entre fallos lo define como, duración del tiempo transcurrido entre dos fallos consecutivos de un elemento (UNE-EN 13306, 2018, p. 22)

Es la sumatoria de todos los tiempos entre fallas (TEF), entre el número total de fallas. (Rojas Fernández, 2019, p. 9)

$$TPPF = \frac{\sum_{i=1}^n TEF}{n} \quad (2)$$

Donde:

TPPF: Tiempo promedio para la falla [Hrs]

TEF: Tiempo operativo entre fallos [Hrs]

n: Número de fallas (Rojas Fernández, 2019, p. 10)

Cada ciclo de vida tiene su propia manera de calcular el MTBF; sin embargo el ciclo de vida más común de los componentes es el de “vida útil”; dónde la tasa de falla es constante (Morales Retamal, 2017, p. 35).

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

Donde:

MTBF: Tiempo medio entre fallos.

λ = Tasa de falla [1/t]

2.1.2.3 *Tiempo medio para reparar*

Es la sumatoria de todos los tiempos para reparar (TPR) cada falla, entre el número de fallas.

$$TPPR = \frac{\sum_{i=1}^n TPR}{n} \quad (4)$$

Donde:

TPPR: Tiempo promedio para reparar [Hrs].

TPR: Tiempo para reparar [Hrs].

n: Número de fallas. (Rojas Fernández, 2019, p. 10)

2.1.2.4 *Costo global de mantenimiento*

Resultado económico total de la gestión de mantenimiento de una empresa (Galar et al, 2012, p. 2), de esta manera este método permite tomar decisiones y estrategias en términos del costo global de mantenimiento (Pascual, 2008, p. 317).

Los costos que intervienen para el análisis son los siguientes:

Los costos de intervención C_i (um/intervención), el cual se encuentra compuesto por los costos de repuestos, insumos, y del personal requerido para la reparación de equipos, o para el reemplazo de componentes en mal estado.

Los costos por falla C_f (um/falla), las consecuencias de una parada, esto incluye la detención de la maquinaria, demoras en la producción, desorganización de la producción (Pascual, 2008, p. 318).

Gráficamente se puede determinar el modelo para calcular el costo global, en función de MTTR, de esta manera se puede interpretar toma de decisiones en función de los costos.

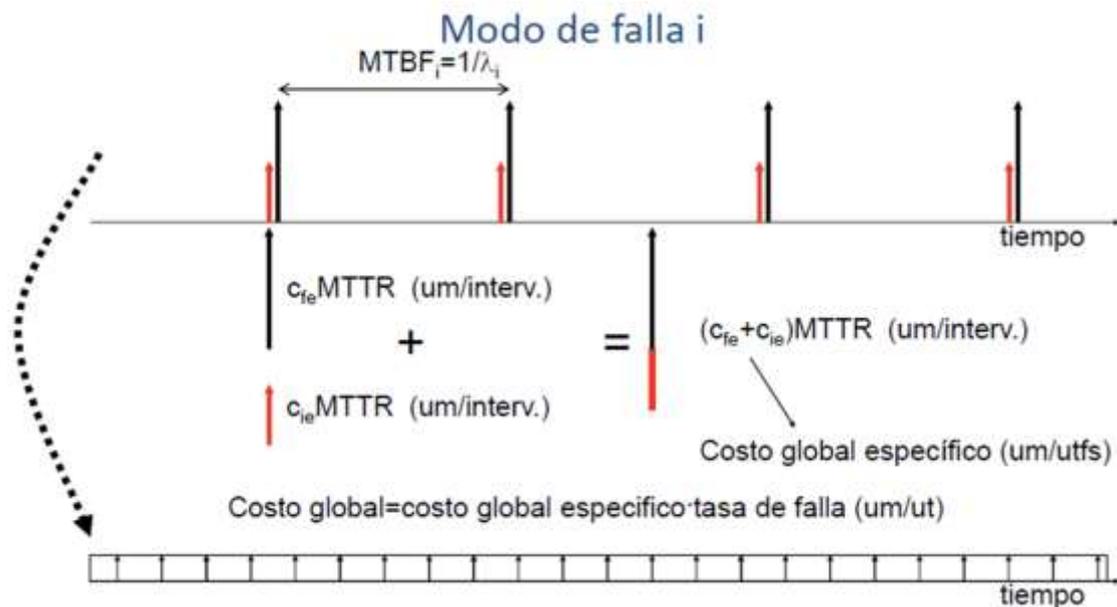


Figura 2-2: Cálculo del costo global en función de costos global específico.

Fuente: (Pascual, 2008, p. 318)

2.1.2.5 Mantenibilidad

El criterio de mantenibilidad es expresado según (Technische Universität München 2018), como “La mantenibilidad es la actividad que planifica, diseña, produce y respalda un producto para que cumpla con los requisitos de disponibilidad, rendimiento, seguridad y economía”

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (5)$$

Donde:

$M(t)$: Mantenibilidad en función del tiempo.

T: tiempo de ensayo en cualquier unidad de tiempo.

β : Parámetro de forma.

α : Parámetro de escala o vida característica (Londoño, Freire y Cuzco, 2018, p. 2).

Capacidad de un elemento bajo condiciones de utilización dadas, de ser preservado, o ser devuelto a un estado en el que pueda realizar una función requerida, cuando el mantenimiento se ejecuta bajo condiciones dadas y utilizando procedimientos y recursos establecidos (UNE-EN 13306, 2018, p. 9), para la representación gráfica ver Figura 2-2.

El análisis de mantenibilidad de un equipo se enfoca en la evaluación estadística de los tiempos de reparación de las fallas, de manera complementaria se pueden realizar análisis de mantenibilidad para tiempo de mantenimientos programados (Londoño, Freire y Cuzco, 2018, p. 2), siendo así que este indicador se puede ajustar a los datos obtenidos de mantenimientos preventivos o correctivos.

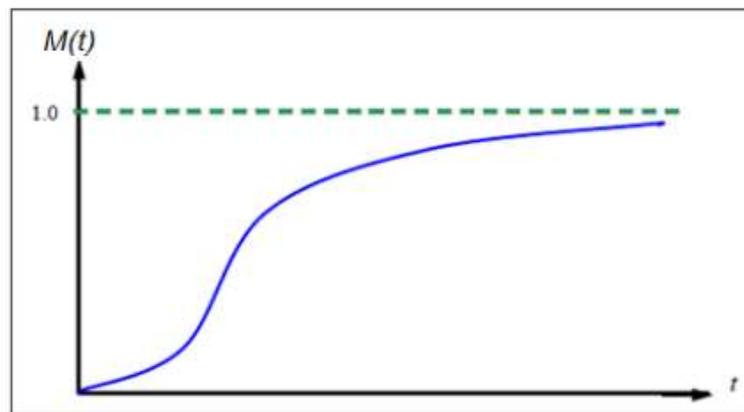


Figura 3-2: Función de la mantenibilidad a través del tiempo.

Fuente: (Rodríguez, 2015)

El análisis de mantenibilidad de un equipo se enfoca en la evaluación estadística de los tiempos de reparación de las fallas, de manera complementaria se pueden realizar análisis de mantenibilidad para tiempo de mantenimientos programados (Londoño, Freire y Cuzco, 2018, p. 2), siendo así que éste indicador se puede ajustar a los datos obtenidos de mantenimientos preventivos o correctivos.

Cabe recalcar que existe criterios para datos censurados que son de mantenimientos preventivos, o hablando del criterio de datos dispersos que ocasionaran resultados incorrectos.

2.1.2.6 *Confiabilidad*

Según el estándar ISO 14224 (2004) la confiabilidad es la capacidad de un ítem de desempeñar una función requerida bajo condiciones dadas durante un intervalo de tiempo dado (Rodríguez, 2015, p. 54).

Es la capacidad de un equipo de realizar su función de la manera prevista. De otra forma, la confiabilidad se puede definir como la probabilidad en que un equipo realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo y bajo condiciones especificadas (Gonzales Carrasco, 2015, p. 13).

Según Mora Gutiérrez (2019) define a la confiabilidad, como la frecuencia con la cual ocurren las fallas. Sino existen fallas, el equipo sería 100% confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, entonces la confiabilidad del equipo es aún aceptable, pero si es muy alta, el equipo es poco confiable (Buenaño, Villagran, 2019, p. 176), de acuerdo a este concepto se puede analizar que la confiabilidad siempre buscará asegurar que se reduzcan las fallas para así siempre tener el porcentaje más alto en funcionamiento sin paradas.

2.1.2.7 *Tasa de fallos*

Número de fallos de un elemento durante un intervalo de tiempo dado dividido por el intervalo de tiempo (UNE-EN 13306, 2018, p. 11).

2.2 Priorización de equipos

La priorización es un tema clave para enfrentar los desafíos existentes en la administración de activos físicos (Pascual 2008), que mediante esta metodología organiza los modos de falla según el impacto que tienen a los indicadores que son objeto de análisis y de límite permitido para evitar paradas de planta largas por reparaciones.

Un método cuantitativo con un mecanismo de análisis en dos o tres dimensiones en donde cada uno de éstas corresponden a una variable (Viveros et al, 2013, p. 131), que tiene su valor medio tomado como límite para evidenciar si el modo de falla influye en tiempos de indisponibilidad, tasa de fallos o tiempos extendidos de reparación, que afectan a la producción ocasionando incumplimientos en productos terminados, teniendo que asumir gastos de incumplimiento, reduciendo la calidad de la empresa.

2.2.1 Método Jack Knife

Permite analizar el tiempo de inactividad mediante diagramas de dispersión logarítmica, de tal manera los gráficos de dispersión logarítmicos conservan el esquema de clasificación de los histogramas de Pareto (Knights, 2004, p. 15).

Considerado un método de priorización de equipos críticos, que se pueden analizar en varios niveles jerárquicos de acuerdo a la profundidad de los análisis requeridos (Knights, 2004, p. 15), contando con información de tiempos que ha intervenido el departamento en inspección, monitoreo y reparaciones de componentes de la máquina.

Es un método multicriterio que representa, equipos de un proceso, componentes de un equipo en un diagrama que relaciona la tasa de fallas (λ) asociada con indicadores de mantenimiento (Tiempo medio entre fallas, tiempo medio para reparar, indisponibilidad, etc.) (Morales Retamal 2017).

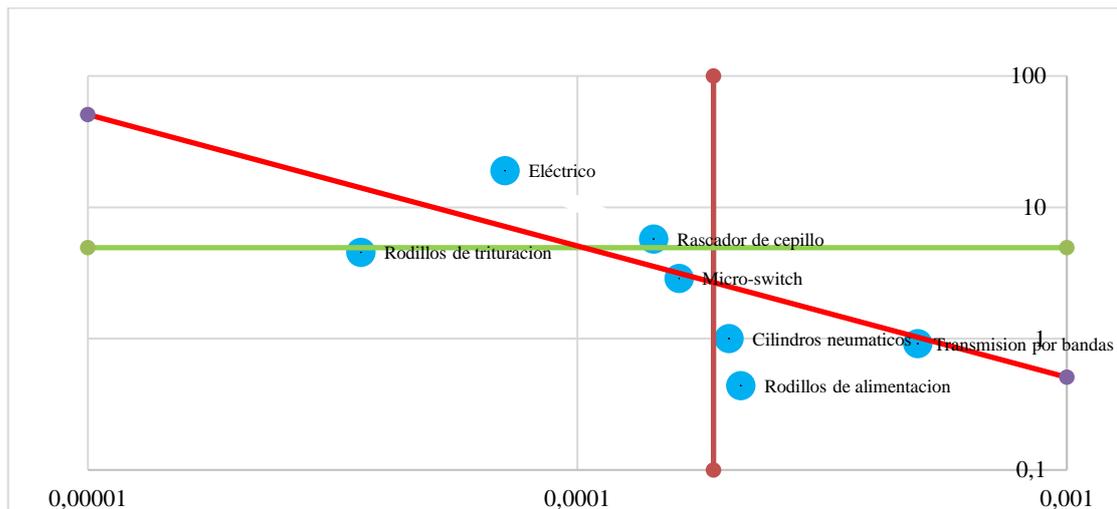


Gráfico 1-2: Diagrama de Jack Knife a nivel de equipos.

Realizado por: Allauca, D. 2021

Tabla 1-2: Interpretación de los fallos de equipos en los cuatro cuadrantes.

Cuadrante	Tipo de falla	Observación
I	Agudo – Critico	Falla con alto tiempo de reparación y alta tasa de fallos.
II	Críticos	Fallas con baja tasa de fallos, pero con alto tiempo de reparación.
III	Fallas leves	Falla con baja tasa de fallos y bajo tiempo de reparación.
IV	Agudos	Falla con alta tasa de fallo, pero con bajo tiempo de reparación.

Fuente: (Gonzales Carrasco, 2015, p. 15)

Realizado por: Allauca, D. 2021

Los limites que se indica en el Gráfico 1-2, son líneas continuas que indican el valor promedio de los indicadores que se evalúan en el método y se calculas de la siguiente manera:

$$\text{LIMITE MTTR} = \frac{\sum \text{MTTR}_i}{n} \quad (6)$$

$$\text{LIMITE CANT.EVENTOS} = \frac{\sum n_e}{n} \quad (7)$$

Donde:

MTTR_i: Tiempo medio de reparación para cada equipo.

n: Cantidad de equipos.

n_e: Cantidad de eventos reportados para cada equipo (GONZÁLEZ CARRASCO, 2015, p. 15)

Se considera también la indisponibilidad como un límite, con el propósito de diferenciar que equipos son causantes de un mayor tiempo fuera de servicio referente a un porcentaje establecido (Viña et al, 2019, p. 38-39), de esta manera priorizamos los equipos que superen el límite ya que existen varias rectas de indisponibilidad para cada equipo.

Una de las desventajas es que los datos de tiempo de inactividad forman una familia de hipérbolas que el graficar e interpretación será un inconveniente al asociar con los otros indicadores, de esta manera se propone utilizar los logaritmos de los indicadores (Knights, 2004, p.17), indicando en la siguiente ecuación:

$$\text{Log I} = \text{Log MTTR} * \text{Log } \lambda \quad (8)$$

Se calcula la indisponibilidad (%) de la siguiente manera, indicando la deducción:

$$\text{I}(\%) = \sum \text{MTTR} * \sum \lambda \quad (9)$$

Donde:

I: Indisponibilidad

MTTR: Tiempo medio para reparar.

λ: Tasa de fallas.

$$D=1-I \quad (10)$$

$$MTBF=\frac{1}{\lambda} \quad (11)$$

$$D=\frac{MTBF-MTTR}{MTBF} \quad (1)$$

Reemplazo (12) y (13) en (1)

$$1-I=\frac{\frac{1}{\lambda}-MTTR}{\frac{1}{\lambda}}$$

$$1-I=\frac{1-\lambda.MTTR}{\lambda}$$

$$1-I=\frac{\lambda(1-\lambda.MTTR)}{\lambda}$$

$$-I=1-\lambda.MTTR+1(-1)$$

$$I=\lambda*MTTR$$

2.2.1.1 Método frecuencia-indisponibilidad

Este concepto implica que la intervención del personal operativo sea de mayor participación.

Se divide el diagrama en 9 cuadrantes, sin esquemas tipo Pareto:

- En el cuadrante de λ alto y D bajo propone que las tareas sean hechas por operadores (estrategia TPM) (Pascual,2008, p.1089).
- En el cuadrante de λ bajo y alto D propone usar monitoreo en línea (Pascual, 2008, p.1089).
- Modos de falla o equipos con λ bajo y D bajo son buenos candidatos para mantenimiento correctivo (Pascual, 2008, p. 1089).
- Cuadrante λ alto y D alto; se trata de equipos crónicos y terminales, son buenos candidatos para realizar mantenimiento proactivo con posible rediseño/reemplazo (Pascual, 2008, p. 1089).

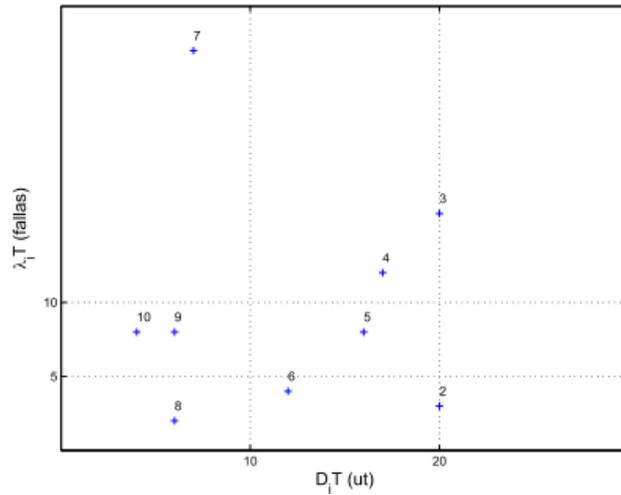


Figura 4-2: Método frecuencia indisponibilidad

Fuente: (Pascual, 2008, p. 1090)

2.2.1.2 Método tasa de fallos-tiempo medio para reparar-indisponibilidad

La línea azul, llamada “Limite de disponibilidad”, es una línea de equidisponibilidad y sirve para marcar un límite entre estas prioridades, existen infinitas líneas de equidisponibilidad, pero esta marca la media que representa a los diferentes activos (DAVID SILVA PACHECO, 2018, p. 6), alcanzando un criterio global de los fallos.

Alcanzando este criterio indicado en la Figura 6-2, con la ecuación (8) en función de los logaritmos.

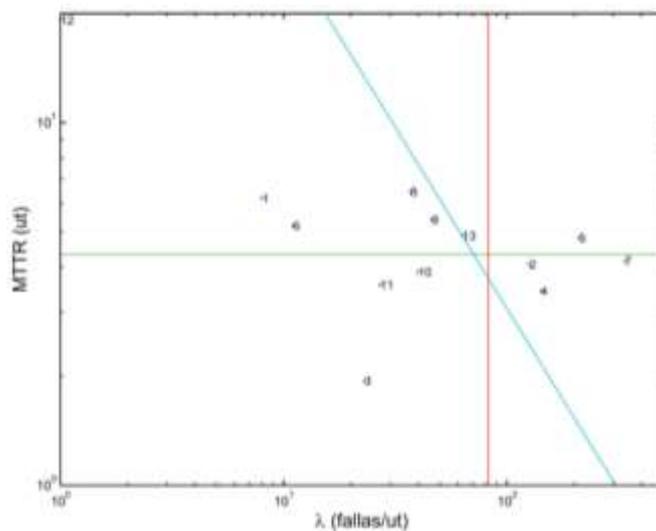


Figura 5-2. Método MTTR-Tasa de fallos-Indisponibilidad

Fuente: (Pascual, 2008, p. 1088)

2.2.1.3 Método de dispersión de costos

El diagrama JACK KNIFE ya visto solo considera tiempos y frecuencias con lo que no analiza el impacto económico de tener un equipo fuera de servicio (Pascual, 2008, p. 1099).

De tal manera se formula el modelo:

Si descartamos el costo de almacenamiento y el de sobreinversiones, el costo global de mantenimiento por unidad de tiempo c_g que se obtiene es la suma de las correctivas, las preventivas, las inspecciones, y otras detenciones (Pascual, 2008, p. 2000).

$$c_g = \sum_{j=1}^n (c_{ij} + (c_{fj} * \alpha)) f_j * TFS_j \frac{um}{ut} \quad (11)$$

$$c_g = \sum_{j=1}^n c_{gej} D_j \quad (12)$$

Donde:

c_g : costo global de mantenimiento por unidad de tiempo (USD/hora).

c_{gej} : costo global específico del código j y puede ser considerado como un peso relativo a aplicar a las indisponibilidades

TFS $_j$: ciclo logístico completo

c_{ij} : es el valor promedio costado en la orden de trabajo o en la factura

α : Factor de falla

En donde el factor de falla puede tomar dos valores como se indica de la siguiente manera:

- Valor de 1 cuando la actividad es correctiva.
- Valor de 0 cuando la actividad es preventiva.

De tal forma se puede construir un diagrama de Jack Knife en función del costo por tiempo de reparación, como se muestra en la, Figura 7-2.

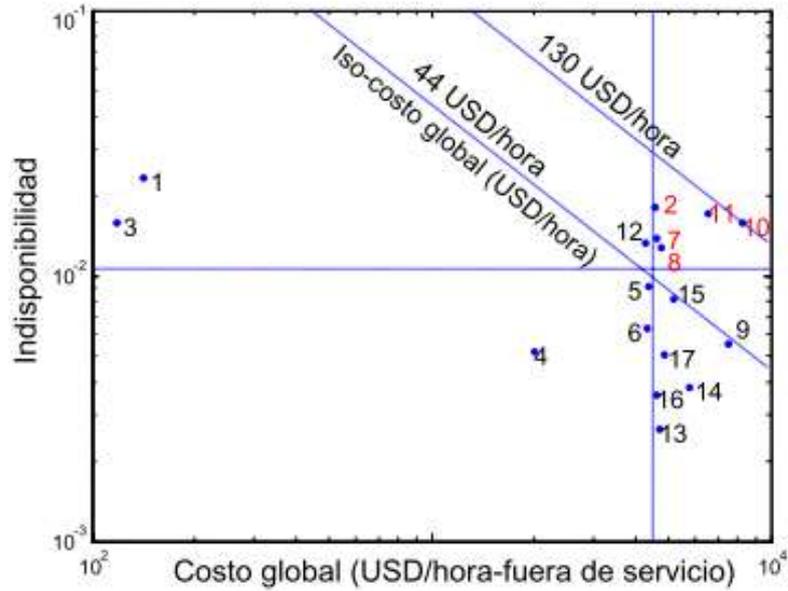


Figura 6-2: Método de dispersión de costos

Fuente: (Pascual, 2008, p. 1102)

2.3 Modelo de confiabilidad

Es la probabilidad de que el activo opere sin fallas un tiempo igual o superior al periodo de análisis o tiempo misión (t_m) (Francisco, 2013, p. 191).

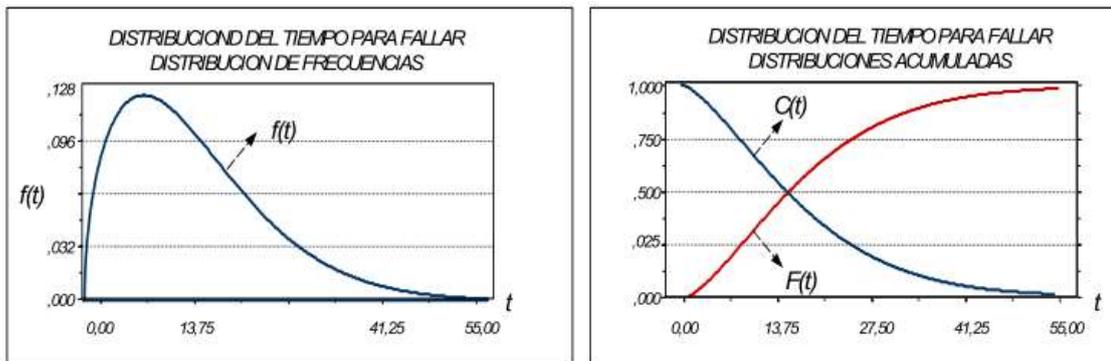


Figura 7-2: Función de densidad y acumulada con tiempos para fallar.

Fuente: (Francisco, 2013, p. 192)

De esta manera se considera probabilísticamente a la confiabilidad como:

$$\text{Confiabilidad}(t) = \Pr(t > t_m) \tag{13}$$

Donde:

Pr: Probabilidad de un evento.

t: tiempo de operación.

t_m : tiempo misión (Francisco, 2013, p. 191).

2.3.1 Tasa de fallos

Conocida como la función de velocidad del incremento de peligro o tasa de fallos, se toma como una variante para el análisis de confiabilidad, en determinar la variable aleatoria tiempo para la falla, es así que describe el comportamiento del número de fallas de una población por unidad de tiempo (Francisco, 2013, p. 193).

$$\lambda = \frac{F(t)}{C(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} \quad (14)$$

Donde:

$F(t)$: Función de densidad

$f(t)$: Función acumulada (Francisco, 2013, p. 193).

Tabla 2-2: Comportamiento de la tasa de fallos según la etapa.

Etapa de falla	Síntoma de tasa de fallos
Etapa infantil	Muestra una tasa de fallos decreciente en la primera parte de la vida útil de un activo
Etapa constante	Se observa una tasa de fallos constante
Etapa de desgaste	Tasa de fallos creciente

Fuente: Francisco, 2013, p. 194)

Realizado por: Allauca, Darío, 2021



Figura 8-2: Fases del ciclo de vida de un activo.

Fuente: Mora Gutiérrez, 2009

Tabla 3-2: Características del parámetro de forma beta según los diferentes valores.

Valor β	Características
$0 < \beta < 1$	Tasa de falla decreciente
$\beta = 1$	Distribución exponencial
$1 < \beta < 2$	Tasa de falla creciente
$\beta = 2$	Distribución Rayleigh
$\beta > 2$	Tasa de falla creciente
$3 < \beta < 4$	Tasa de falla creciente, aproximación a la distribución Norma

Fuente: (Rodríguez 2015)

Realizado por: Allauca, D. 2021

De esta manera se tiene los diferentes comportamientos de la tasa de fallos según el beta calculado de los datos y saber que distribución se ajusta mejor.

2.3.2 Modelo de Weibull

Esta distribución se utiliza con frecuencia en el estudio del tiempo de vida o tiempo para la falla de elementos mecánicos (Rodríguez 2015), considerando la influencia de las condiciones de operación (Viña et al, 2019, p. 33), de acuerdo a este contexto es la distribución que mejor se ajusta a todas las distribuciones.

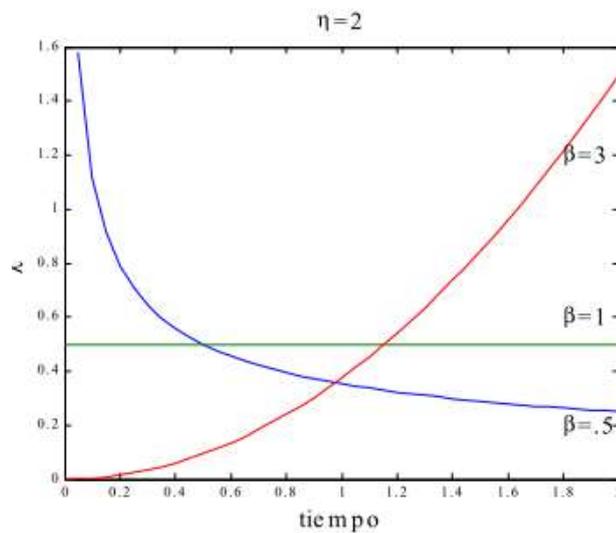


Figura 9-2: Tasa de fallos en la distribución de Weibull.

Fuente: (Pascual, 2008, p. 157)

2.3.2.1 Estimación de parámetros de Weibull

Tomando como referencia a la información de (Díaz Valenzuela 2016), para la distribución de Weibull que utiliza las siguientes ecuaciones:

Confiabilidad

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1}} \quad (15)$$

Función de densidad de probabilidad

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1}} \quad (16)$$

Tasa de fallos

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad (17)$$

Tiempo medio entre fallos

$$MTBF = \frac{TF}{NF} \quad (18)$$

Donde:

TF: Tiempo de funcionamiento (horas del período menos horas por imprevistos internos menos horas por mantenimiento programada menos horas operacionales).

NF: Número de fallas del equipo por imprevistos internos.

Esperanza de buen tiempo de funcionamiento

$$MTBF = \gamma + \alpha \Gamma\left(\frac{\beta+1}{\beta}\right) \quad (19)$$

Donde:

α : Vida característica, alargamiento de la distribución en el eje del tiempo.

β : Es la constante de forma; este parámetro controla la forma de la distribución.

γ : La constante de localización, es expresada en las mismas unidades de t y define el punto de partida o el origen de la distribución.

Γ : Función gamma.

t: Tiempo de buen funcionamiento.

Para calcular la distribución Weibull debemos calcular los parámetros α y β :

Primero: Se ordenan los datos de los tiempos de menor a mayor, sin importar el orden de ocurrencia (Londoño, Freire y Cuzco 2018), por lo general se puede realizar esta acción mediante hojas de cálculo donde se pueda organizar los datos que se extraen de la base de datos en donde se registra el historial de fallos.

Segundo : Se calcula el rango de las medianas, se pueden utilizar tres fórmulas , las cuales se seleccionan dependiendo del tamaño de la muestra (Londoño, Freire y Cuzco 2018), en la Tabla 4-2.

La cual aborda las diferentes formas que se puede calcular como lo indica la Aproximación de Bernard, como la fiabilidad ideal, ya que muestra cómo sería el comportamiento según el número de datos que se obtenga (Viña et al, 2019, p. 35).

Tabla 4-2: Rango de las medianas según el tamaño de la muestra.

Numero de datos de la muestra	Rango de las medianas
$N > 50$	$m = \frac{i}{N} = \frac{\sum ni}{N}$
$50 > N > 20$	$m = \frac{i}{N+1}$
$N < 20$	$m = \frac{i-0,3}{N+0,4}$

Fuente: (Londoño, Freire y Cuzco, 2018, p. 3)

Realizado por: Allauca, D. 2021

Donde:

i: número de orden de la muestra

N: tamaño de la muestra

Tercer paso: Determinamos los ejes y, x para la linealización de los datos (Rodríguez 2018):

$$y = \ln \left(\ln \left(\frac{1}{1-F(t)} \right) \right) \quad (20)$$

$$x = \ln(t) \quad (21)$$

Con los datos obtenidos podemos graficar , determinar el coeficiente de correlación y la ecuación con lo cual se podrá tomar los datos de β y la intersección, al igual que mediante el coeficiente se determina a cuál distribución se ajusta mejor los datos (Londoño, Freire y Cuzco 2018).

2.4 Costo de ciclo de vida según UNE EN 600300-3-3

La indisponibilidad de un producto puede afectar significativamente a su LCC. Por lo tanto, necesita optimizarse la disponibilidad de funcionamiento de un producto y los costes de su ciclo de vida asociados (EN 60300-3-3 2009)

2.4.1 Costo de ciclo de vida

Todos los costes generados durante el ciclo de vida del elemento (UNE-EN 13306 2018).

Basándose en la norma IEC 60300, se aplica a los costos asociados a la confiabilidad del equipo.

EL relacionar los costos de ciclo de vida y la confiabilidad involucra las operaciones, las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo (EN 60300-3-3, 2009, p. 13).

$$LLC = \sum \text{costos de (adquisición+ operacion+ mantenimiento+ eliminacion)} \quad (22)$$

Representando costo de adquisición los costos de compra, instalación del equipo.

Operación y mantenimiento, los costos asociados a la mano de obra, materiales y repuestos, combustibles y tiempo por inactividad en tema de costos

Eliminación, al valor residual el cual es positivo ya que es un ingreso por venta del equipo al desincorporar de su línea de producción (EN 60300-3-3, 2009, p. 15)

Es así que se representa el comportamiento de un activo a lo largo de su vida útil ,dando variantes en función de la confiabilidad y mantenimiento (Viveros et al, 2013, p. 134).

Determinar el tiempo óptimo de remplazo en función de los costos de ciclo de vida representa tener presente toda la etapa del ciclo de vida de un activo (EN 60300-3-3, 2009, p. 68), en tanto las variantes que existen , se puede determinar el análisis en varios tramos de su ciclo es así que se puede establecer en función de sus actividades correctivas.

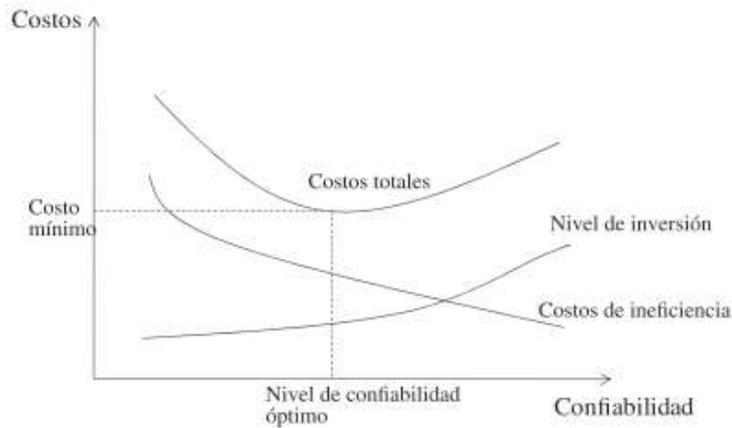


Figura 10-2: Cálculo del costo de ciclo de vida y tiempo óptimo de replazo.

Fuente: (Viveros et al, 2013, p. 134)

2.4.1.1 *Tiempo óptimo de replazo.*

La sustitución se realiza al producirse el fallo y aplicando el modelo de sustitución que indica (Jardine y Tsang, 2018, p.40), el cual expone que el problema es determinar el tiempo óptimo de replazo por actividades preventivas y el costo mínimo utilizado.

Se aplica el siguiente modelo para calcularlo:

$$C(tp) = \frac{C_p + C_c * H(tp)}{tp} \quad (23)$$

Donde:

C(tp): Coste total esperado por unidad de tiempo

C_p: Costo total preventivo en el intervalo de análisis.

C_c: Costo total correctivo en el intervalo de análisis.

H(tp): Numero de fallos esperados en el intervalo de análisis

T_p: tiempo al realizar el análisis (Jardine y Tsang, 2018, p. 46).

Es así que en función de los datos preventivos y correctivos se calcula el tiempo óptimo de replazo.

Datos Equipos ×

REGISTRO DE EQUIPO

CÓDIGO	<input type="text"/>	<div style="border: 1px solid gray; width: 100%; height: 150px; background-color: #f5f5f5;"></div> <input style="width: 100%; height: 20px; margin-top: 5px;" type="text"/>
EQUIPO	<input type="text"/>	
COSTO ADQUISICIÓN	<input type="text"/>	
ÁREA	<input type="text"/>	
FECHA	<input type="text"/>	

Agregar
Limpiar
Subir Imagen

Figura 2-3: Formulario de ingreso automático de datos de equipos.

Realizado por: Allauca, D. 2021

Dentro de este formulario se obtiene información necesaria para la base de datos que se podrá identificar a los activos que se encuentran gestionando por el departamento de mantenimiento, con el fin de utilizar en futuros inventarios que requiera la empresa.

Datos Equipos ×

REGISTRO DE EQUIPO

CÓDIGO	<input type="text" value="MDDP01"/>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">  </div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px; font-size: small; margin-top: 5px;">C:\Users\User-TecSoft\Desktop\5-0.jpg</div>
EQUIPO	<input type="text" value="NDA DE 4 CILINDROS"/>	
COSTO ADQUISICION	<input type="text" value="115000"/>	
ÁREA	<input type="text" value="Molienda"/>	
FECHA	<input type="text" value="01/02/1999"/>	

Agregar
Limpiar
Subir Imagen

Figura 3-3: Formulario de ingreso automático de datos de equipos del caso de estudio.

Realizado por: Allauca, D. 2021

El registro de equipo se utiliza como información técnica necesaria para análisis posteriores.

Se ingresa toda la información solicitada y a continuación se da click en el botón “AGREGAR”, de esta manera se insertará todos los campos en la base de datos en Excel.

Al ingresar un activo contamos dentro de la hoja de Excel con 2 opciones:

- Ingresar más información de activos para la base de datos.
- Ir a historial de mantenimiento.



Figura 4-3: Botones para acceso automático.

Realizado por: Allauca, D. 2021

3.1.1 *Elaboración de la plantilla para el ingreso de historial de fallos.*

Al dirigirse al historial de mantenimiento se tiene una tabla para ingresar el historial de fallos de los sistemas, equipos o componentes, de esta manera se crea la información con todos los datos para el análisis de priorización de equipos, ver Anexo D.

Dentro de la base de datos de historial de fallas, se registra cada tarea preventiva o correctiva, con su respectivo tiempo total de reparación y en el caso de mantenimiento correctivo se ingresa el tiempo entre fallos. De igual manera los repuestos y materiales utilizados con la cantidad necesaria para tener una guía y posteriormente calcular los costos de mantenimiento

Tabla 1-3: Historial de actividades de mantenimiento preventivo.

Sistema	Día	Fecha	TBF	Temp	Actividad/Modo de falla	Técnic	Tipo	Materiales/Re- puestos	Cantid	Unida	Precio unitari	Precio total
Rodillos de trituracion	10	abr-04		4	Calibracion del embrague de los rodillos	1	P					\$ -
Transmision por ruedas dentadas	6	jul-04		4	Limpieza de engranajes y de valvula de embolo	3	P					\$ -
Rasacador de cuchillos	6	jul-04		8	Limpieza de visor, chuchillas y cepillo	3	P					\$ -
Transmision por ruedas dentadas	7	jul-04		1,5	Cambio de aceite 460	2	P	Aceite meropa 460	0,25	litro		\$ -
Rodillos de trituracion	11	sep-04		4	Calibracion del embrague de los rodillos	2	P					\$ -
Rodillos de alimentacion	30	dic-04		3	Limpieza y samblasteado en rodillo C1-C2	3	P	Arena	1	und		\$ -
Cilindros neumaticos	31	dic-04		1	Limpieza de piston neumatico y finales de carrera	2	P	460	0,25	litro		\$ -
Rodillos de trituracion	23	abr-05		4	Calibracion del embrague de los rodillos	1	P					\$ -
Cilindros neumaticos	7	jun-05		0,33	Limpieza de cilindro neumatico que acciona el final de carrera	3	P	Aceite	0,25	litro		\$ -
Rodillos de trituracion	27	oct-05		0,33	Calibracion del embrague de los rodillos	1	P					\$ -
Cilindros neumaticos	13	dic-05		4	Limpieza de pistones neumáticos y lubricación	3	P	460	0,25	litro		\$ -
Rodillos de trituracion	17	ene-06		2	Mantenimiento de rodillos y vaso	1	P					\$ -
Rodillos de trituracion	5	mar-06		3	Mantenimiento de rodillos y vaso	3	P					\$ -
Rodillos de alimentacion	5	abr-06		1,5	Mantenimiento de rodillos y vaso	3	P					\$ -
Rodillos de trituracion	9	oct-06		5	Calibración del embrague de rodillos	3	P					\$ -
Rodillos de alimentacion	27	nov-06		4	Engrasado	3	P	Grasa				\$ -
Rodillos de trituracion	9	may-07		0,5	Calibracion del embrague de los rodillos	2	P					\$ -
Cilindros neumaticos	6	sep-07		3	Limpieza de válvula de conmutación neumática	2	P					\$ -
Cilindros neumaticos	6	sep-07		0,25	Limpieza de cañerías neumáticas	1	P					\$ -

Fuente: Historial de fallos del banco de molienda MDDP.

Realizado por: Allauca, D. 2021

Tabla 2-3: Historial de actividades de mantenimiento correctivo.

Sistema	Día	Fecha	TBF	Tiemp	Actividad/Modo de falla	Tecnic	Tip	Materiales/Re puestos	Cantid	Unida	Precio unitari	Precio total
Transmision por bandas	2	feb-04	792	1,5	Cambio de bandas quemadas	2	C	bandas	4	und		\$ -
Rodillos de alimentacion	17	mar-05	7593	0,25	Control y relleno de nivel de aceite	3	C	Aceite meropa 460	0,25	litro		\$ -
Cilindros neumaticos	25	jun-05	2400	4	Cambio de valvula de embolo y engrase	1	C	Grasa	45	gramos		\$ -
Micro-switch	29	oct-05	3024	0,5	Cambio de micro-switch neumatico	3	C	Micro-switch	1	und		\$ -
Rascador de cepillo	17	ene-06	1920	7	Cambio de cepillos	2	C	cepillo	1	und		\$ -
Eléctrico	3	oct-06	6192	4	Cambio de motor trifásico quemado	2	C	Motor trifasico jaula de ardilla	1	und		\$ -
Transmision por bandas	23	nov-06	1224	2	Cambio de bandas quemadas	2	C	bandas	1	und		\$ -
Micro-switch	12	mar-07	2616	0,5	Cambio de micro-switch neumatico	2	C	Micro-switch	1	und		\$ -
Cilindros neumaticos	16	may-07	1560	2	Cambio de orings de pistón neumático	3	C	orings	6	und		\$ -
Rodillos de alimentacion	30	jun-07	1080	4	Relleno de nivel de aceite	2	C	Aceite meropa 460	0,25	litro		\$ -
Rodillos de alimentacion	22	dic-07	4200	3	Relleno de nivel de aceite	1	C	Aceite meropa 460	0,25	litro		\$ -
Cilindros neumaticos	4	ene-08	312	4	Cambio de piezas de los cilindros neumaticos	2	C	sellos y empaquetadur as	2	und		\$ -
Rodillos de alimentacion	1	feb-08	672	0,5	Relleno de nivel de aceite	3	C	Aceite meropa 460	0,25	litro		\$ -
Rascador de cepillo	17	jul-08	4008	6	Cambio de cepillos	1	C	cepillo	1	und		\$ -
Cilindros neumaticos	1	ago-08	360	1,5	Cambio de mangueras de aire por rotura	1	C	manguera	1	metro		\$ -
Rodillos de alimentacion	28	ago-08	648	4	Relleno de nivel de aceite de transmision de rodillos de alimentacion	2	C	Aceite meropa 460	0,125	litro		\$ -
Micro-switch	20	abr-09	5640	0,33	Cambio de micro-switch neumatico	1	C	Micro-switch	1	und		\$ -

Fuente: Historial de fallos del banco de molienda MDDP

Realizado por: Allauca, D. 2021

Cabe indicar que la Tabla 1-3 y la Tabla 2-3 se ha plasmado un extracto de los datos para la visualización de la plantilla utilizada, ver ANEXO D en la cual se registra los siguientes datos relevantes para el análisis de JACK KNIFE:

- Tiempos entre fallos (TBF).
- Tiempo de duración de la tarea (TTR).
- Tipo de mantenimiento.
- Numero de técnicos de mantenimiento.
- Materiales y repuestos.
- Cantidad utilizada.

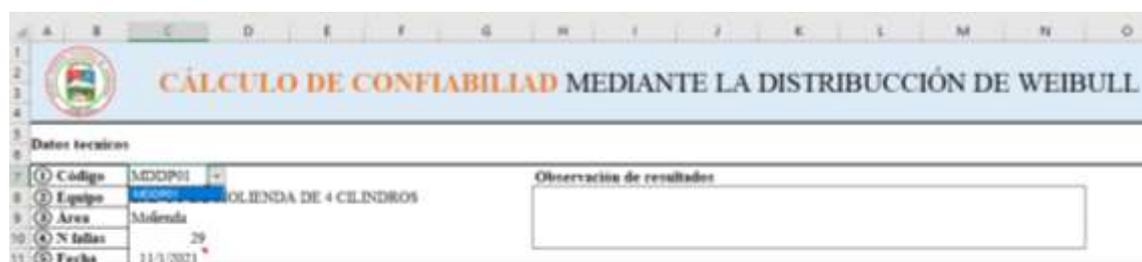
3.1.2 *Cálculo de los indicadores a través de la distribución de Weibull*

Mediante la distribución de Weibull se calcula los indicadores de Confiabilidad y Mantenibilidad, los cuales son datos que se incluyen dentro del diagrama de JACK KNIFE, de tal manera se jerarquiza el modelo de mantenimiento, y se extrae los datos del historial de actividades preventivas y correctivas para determinar los parámetros de cada indicador.

3.1.2.1 *Desarrollo de la plantilla para el cálculo de la distribución de Weibull.*

Para el modelo de confiabilidad se tomó los datos de tiempos entre fallos (TBF) de los mantenimientos correctivos ejecutados al banco de molienda “BUHULER” MDDP de 4 cilindros.

Primero se ingresa los datos técnicos del equipo al cual será efecto el análisis, para lo cual mediante validación de datos y la función buscarv se extrae los datos automáticamente de la base de datos mostrada en la Figura 1-3.



Datos técnicos		Observación de resultados
① Código	MDDP01	
② Equipo	MOLIENDA DE 4 CILINDROS	
③ Área	Molienda	
④ N fallas	29	
⑤ Fecha	11/1/2021	

Figura 5-3: Datos técnicos del equipo para el cálculo de la confiabilidad.

Realizado por: Allauca, D. 2021

Esta sección del análisis de Weibull es necesaria para saber de cual activo se está calculando.

Los valores de los parámetros de la distribución de Weibull se ingresan en las siguientes tablas ver Figura 6-3.

Parámetros	Valor	Cálculo en Excel
Intersección=		=INTERSECCIÓN.EJE(conocido y;conocido x)
β =		=PENDIENTE(conocido y;conocido x)
α =		=EXP(Intersección/ β)

Figura 6-3: Parámetros α y β para el cálculo de la distribución de Weibull.

Realizado por: Allauca, D. 2021

En la parte derecha se muestra cómo se calcula los parámetros utilizando Excel para lo cual se debe realizar el cálculo utilizando las ecuaciones (20) y (21) para determinar los ejes de la linealización de los puntos obtenidos de los fallos.

N.	TBF (horas)	Mediana M $M = \frac{n}{N+1}$	Y $\ln(\ln(1/(1-\text{Rango Mediana})))$	X $\ln(t)$	f(t)	F(t)	R(t)	λ

Figura 7-3: Plantilla para el cálculo de la confiabilidad a través de Weibull

Realizado por: Allauca, D. 2021

3.1.2.2 Cálculo de confiabilidad del banco de molienda “BUHULER” MDDP 4 cilindros.

La base de datos se ha tomado 29 mantenimientos correctivos que ocasionaron parada de planta para su ejecución, de esta manera según la Tabla 4-2 se utiliza el criterio de la mediana para datos que se encuentra entre el rango de menor a 50 y mayor a 20 datos.

Se ingresa los datos de tiempos entre fallas de las actividades correctiva filtrando los datos del Historial de fallos, ver Tabla 2-3, en la plantilla, ver Figura 7-3, para el cálculo de la confiabilidad

mediante la distribución de Weibull, ordenando los datos de tiempos entre fallas de menor a mayor.

Tabla 3-3: Cálculo de confiabilidad a través de la distribución de Weibull.

N.	TBF (horas)	Mediana M $M = \frac{n}{N+1}$	Y $\ln(\ln(1/(1-\text{Rango Mediana})))$	X $\ln(t)$	f(t)	F(t)	R(t)	λ
1	312	0,033333	-3,38429449	5,7430032	0,0003348	0,100131364	90%	0,00037205
2	360	0,066667	-2,67375209	5,886104	0,0003336	0,116175461	88%	0,00037743
3	576	0,100000	-2,25036733	6,3561077	0,0003216	0,187081764	81%	0,00039563
4	648	0,133333	-1,9442057	6,4738907	0,0003162	0,210047258	79%	0,00040033
5	672	0,166667	-1,70198336	6,5102583	0,0003144	0,217614458	78%	0,00040179
6	720	0,200000	-1,49993999	6,5792512	0,0003105	0,232610738	77%	0,00040458
7	720	0,233333	-1,32537551	6,5792512	0,0003105	0,232610738	77%	0,00040458
8	720	0,266667	-1,17068334	6,5792512	0,0003105	0,232610738	77%	0,00040458
9	720	0,300000	-1,03093043	6,5792512	0,0003105	0,232610738	77%	0,00040458
10	720	0,333333	-0,90272046	6,5792512	0,0003105	0,232610738	77%	0,00040458
11	720	0,366667	-0,78360069	6,5792512	0,0003105	0,232610738	77%	0,00040458
12	720	0,400000	-0,67172699	6,5792512	0,0003105	0,232610738	77%	0,00040458
13	792	0,433333	-0,56566196	6,6745614	0,0003044	0,254747641	75%	0,00040846
14	1056	0,466667	-0,46424638	6,9622435	0,0002808	0,332029121	67%	0,00042041
15	1080	0,500000	-0,36651292	6,9847163	0,0002786	0,338742454	66%	0,00042136
16	1224	0,533333	-0,27162494	7,1098795	0,0002654	0,377914123	62%	0,00042667
17	1560	0,566667	-0,17883003	7,3524411	0,0002352	0,461984238	54%	0,00043717
18	1920	0,600000	-0,08742157	7,5600805	0,0002048	0,541115058	46%	0,00044637
19	2400	0,633333	0,00329667	7,783224	0,0001686	0,630540753	37%	0,00045646
20	2616	0,666667	0,09404783	7,8694017	0,0001541	0,665374509	33%	0,00046042
21	2760	0,700000	0,18562676	7,922986	0,0001449	0,68689717	31%	0,0004629
22	3024	0,733333	0,27896103	8,0143357	0,0001294	0,723072197	28%	0,00046716
23	4008	0,766667	0,37520329	8,2960476	8,346E-05	0,826319657	17%	0,00048053
24	4200	0,800000	0,475885	8,3428398	7,644E-05	0,841661385	16%	0,00048279
25	5640	0,833333	0,58319808	8,6376393	3,886E-05	0,921849768	8%	0,00049727
26	5904	0,866667	0,70057107	8,6833854	3,423E-05	0,931485144	7%	0,00049955
27	6192	0,900000	0,83403245	8,7310134	2,977E-05	0,940686751	6%	0,00050194
28	6864	0,933333	0,99622889	8,8340456	2,143E-05	0,957743871	4%	0,00050715
29	7593	0,966667	1,22412754	8,934982	1,493E-05	0,970859555	3%	0,00051231

Fuente: Autor

Realizado por: Allauca, D. 2021

La ecuación que presenta la gráfica de linealización se evidencia los valores de β y la intersección con el eje, ver Gráfico 1-3, pero el cálculo de los parámetros de la distribución de Weibull se calcula con las funciones del Excel de la siguiente manera:

Para el cálculo de la intersección con el eje:

$$=INTERSECCION.EJE(conocido_y;conocido_x) \quad (26)$$

Para el cálculo del parámetro β .

$$=PENDIENTE(conocido_y; conocido_x) \quad (27)$$

Para el cálculo de la vida característica α .

$$=EXP\left(\frac{INTERSECCIÓN}{\beta}\right) \quad (28)$$

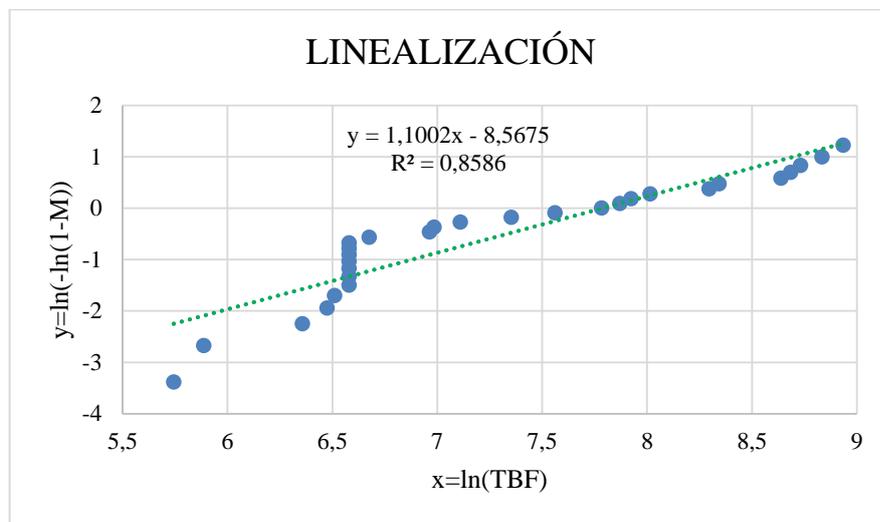


Gráfico 1-3: Linealización para tiempos entre fallas banco de molienda MDDP

Realizado por: Allauca, D. 2021

Como se indica en los cálculos de los parámetros de Weibull a través de Excel o mediante la linealización se puede obtener los valores de Intersección y β , que aproximadamente llegan a ser los mismos

Tabla 4-3: Parámetros de Weibull para banco de molienda MDDP con funciones de Excel.

Parámetros	Valor
Intersección=	-8,57
β =	1,10
α =	2409,39

Realizado por: Allauca, D. 2021

A continuación, cada función presenta su respectiva grafica indicando el comportamiento de los datos de tiempos entre fallas tomados de los resultados obtenidos, ver Tabla 3-3.

Función de densidad $f(t)$.

$$= \text{DISTR.WEIBULL}(x;\text{alfa};\text{beta};\text{FALSO}) \quad (29)$$

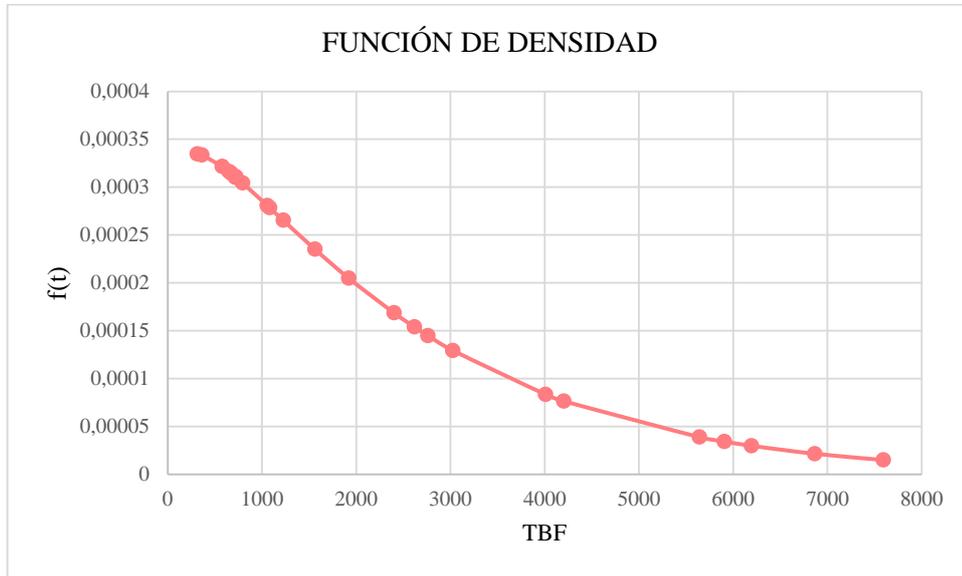


Gráfico 2-3: Función de densidad de tiempos entre fallos, banco de molienda MDDP.

Realizado por: Allauca, D. 2021

Función acumulada $F(t)$.

$$= \text{DISTR.WEIBULL}(x;\text{alfa};\text{beta};\text{ACUMULADO}) \quad (30)$$

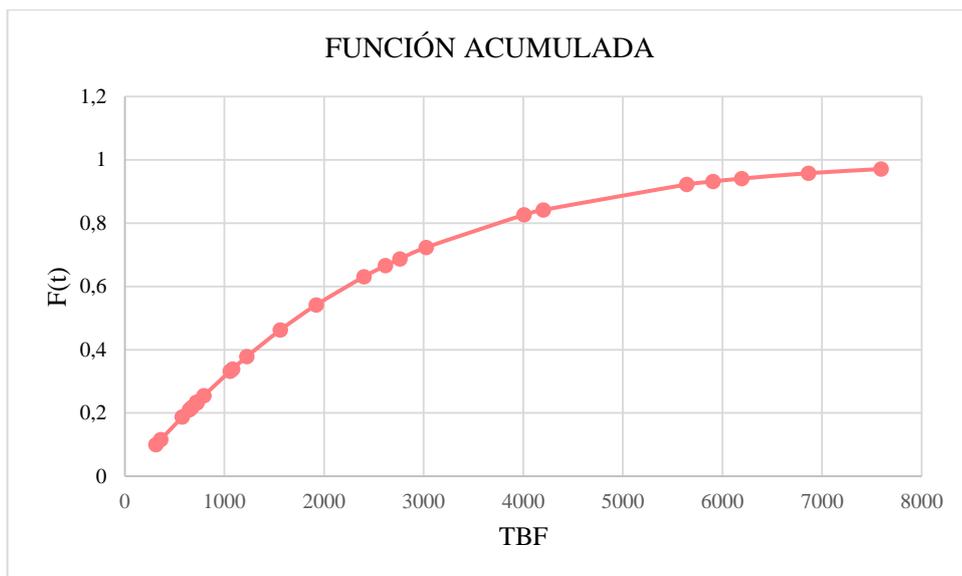


Gráfico 3-3: Función acumulada de tiempos entre fallos, banco de molienda MDDP.

Realizado por: Allauca, D. 2021

Confiabilidad $R(t)$.

$$R(t) = 1 - F(t)$$

(31)

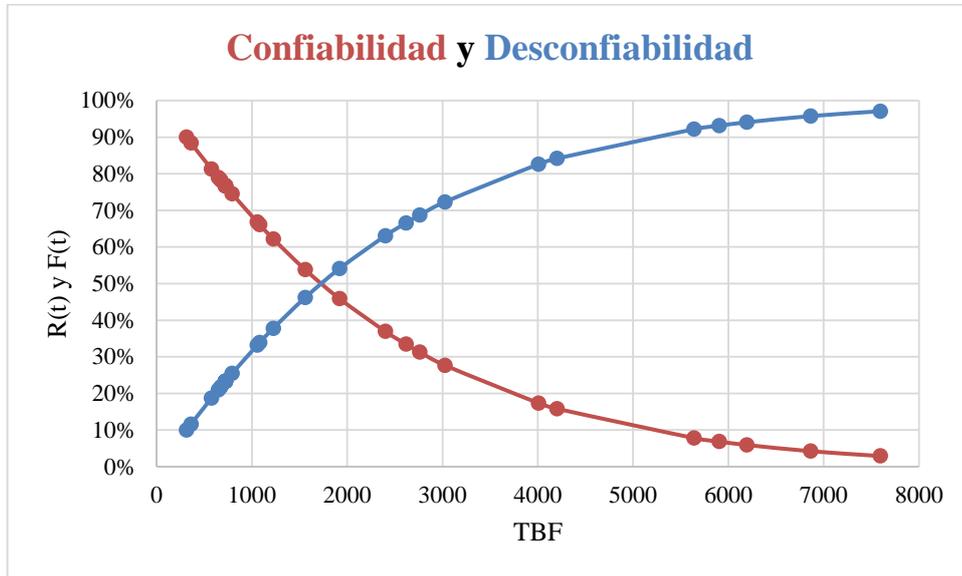


Gráfico 4-3: Confiabilidad y desconfiabilidad, banco de molienda MDDP.

Realizado por: Allauca, D. 2021

Tasa de fallos se calcula en Excel como se muestra en la ecuación (14).

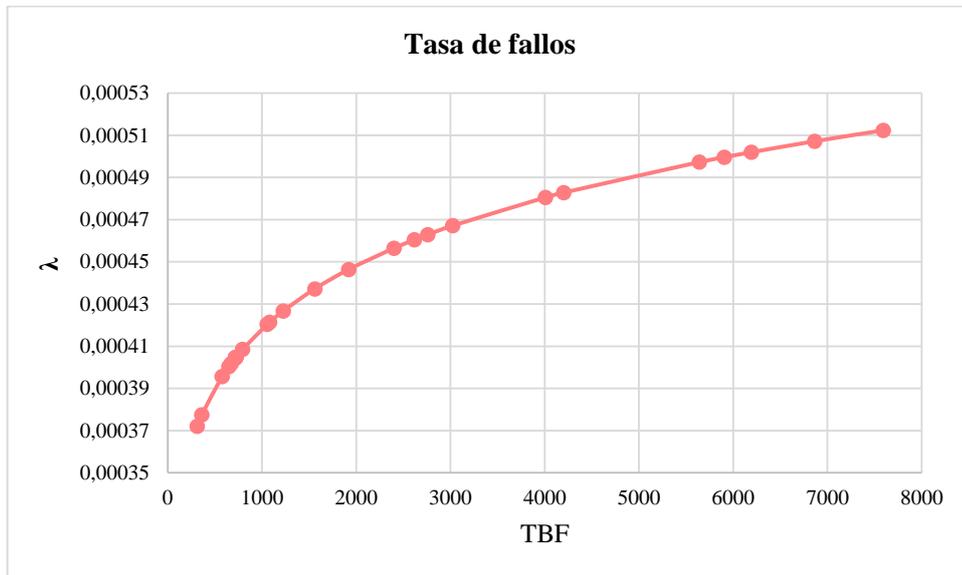


Gráfico 5-3: Tasa de fallos para los tiempos entre fallos, banco de molienda MDDP

Realizado por: Allauca, Darío 2021

Para complementar el análisis de la confiabilidad para los datos entre fallos, se procede a calcular el Tiempo medio entre fallos (MTBF), utilizando las funciones de Excel.

Cálculo del tiempo medio entre fallos.

$$MTBF = \alpha * \text{EXP}(\text{GAMMA}.\text{LN}(1+(1/\beta))) \quad (31)$$

$$MTBF = 2409.39 * \text{EXP}(\text{GAMMA}.\text{LN}(1+(1/1.10)))$$

$$MTBF = 2324,694615 \text{ horas}$$

3.1.2.3 Cálculo de la mantenibilidad para el banco de molienda MDDP 4 cilindros.

Utilizando el formato para la confiabilidad, ver Figura 7-3, se calcula la mantenibilidad para los tiempos totales de reparación de las actividades correctivas.

Para la linealización de los datos totales de tiempo de reparación (TTR) se toma los valores de la Tabla 2-3 y se ingresa a la plantilla de menor a mayor.

Se utiliza el mismo criterio para calcular la mediana, ya que se cuenta con el mismo número de datos para el análisis de la mantenibilidad.

Con la ecuación (20) y (21) se calcula los ejes para la linealización de los tiempos totales de reparación obteniendo la siguiente grafica con su ecuación y coeficiente de correlación, ver Tabla 4-3.

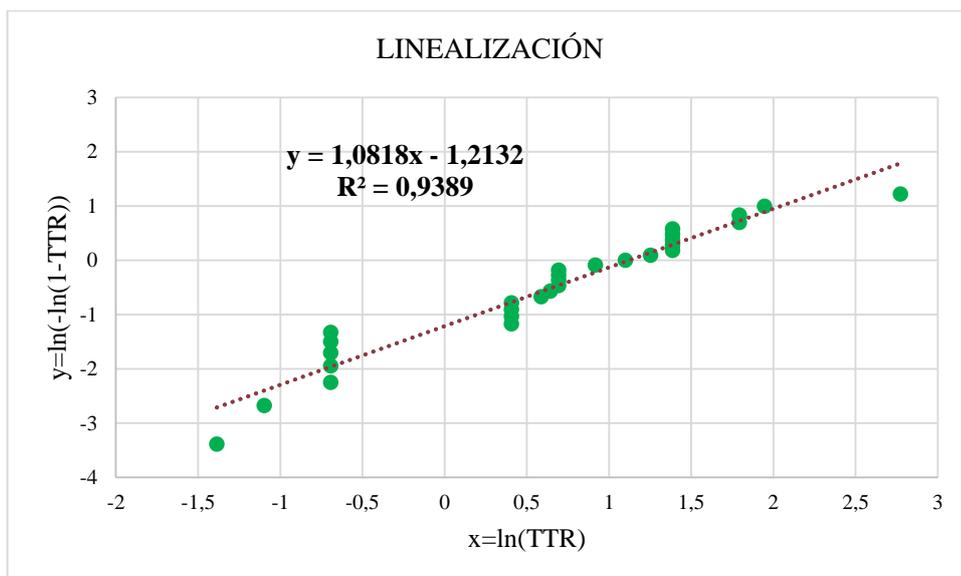


Gráfico 6-3: Linealización para los tiempos totales de reparación.

Realizado por: Allauca, D. 2021

Tabla 4-3: Cálculo de la mantenibilidad, banco de molienda MDDP.

N.	TTR (horas)	Mediana M $M = \frac{n}{N+1}$	Y $\ln(\ln(1/(1-\text{Rango Mediana})))$	X $\ln(t)$	f(t)	M(T)
1	0,25	0,033333	-3,384294493	-1,38629436	0,268649418	0,064190063
2	0,333333	0,066667	-2,673752092	-1,09861229	0,268464065	0,086583463
3	0,5	0,100000	-2,250367327	-0,69314718	0,264018376	0,131011687
4	0,5	0,133333	-1,944205697	-0,69314718	0,264018376	0,131011687
5	0,5	0,166667	-1,701983355	-0,69314718	0,264018376	0,131011687
6	0,5	0,200000	-1,499939987	-0,69314718	0,264018376	0,131011687
7	0,5	0,233333	-1,325375512	-0,69314718	0,264018376	0,131011687
8	1,5	0,266667	-1,170683338	0,405465108	0,209645411	0,369274707
9	1,5	0,300000	-1,030930433	0,405465108	0,209645411	0,369274707
10	1,5	0,333333	-0,902720456	0,405465108	0,209645411	0,369274707
11	1,5	0,366667	-0,783600688	0,405465108	0,209645411	0,369274707
12	1,8	0,400000	-0,671726992	0,587786665	0,192451425	0,429573632
13	1,9	0,433333	-0,565661963	0,641853886	0,186877349	0,448539319
14	2	0,466667	-0,464246379	0,693147181	0,181397076	0,46695223
15	2	0,500000	-0,366512921	0,693147181	0,181397076	0,46695223
16	2	0,533333	-0,271624945	0,693147181	0,181397076	0,46695223
17	2	0,566667	-0,17883003	0,693147181	0,181397076	0,46695223
18	2,5	0,600000	-0,087421572	0,916290732	0,155581317	0,55108224
19	3	0,633333	0,003296669	1,098612289	0,132616053	0,623010704
20	3,5	0,666667	0,094047828	1,252762968	0,11250931	0,684175627
21	4	0,700000	0,185626759	1,386294361	0,095091516	0,735968554
22	4	0,733333	0,278961034	1,386294361	0,095091516	0,735968554
23	4	0,766667	0,375203292	1,386294361	0,095091516	0,735968554
24	4	0,800000	0,475884995	1,386294361	0,095091516	0,735968554
25	4	0,833333	0,583198081	1,386294361	0,095091516	0,735968554
26	6	0,866667	0,700571065	1,791759469	0,047219333	0,873167426
27	6	0,900000	0,834032445	1,791759469	0,047219333	0,873167426
28	7	0,933333	0,996228893	1,945910149	0,032874511	0,912804411
29	16	0,966667	1,224127541	2,772588722	0,001034172	0,997436326

Realizado por: Allauca, D. 2021

A través de las funciones en Excel se calcula los parámetros de la distribución de Weibull:

Tabla 5-3: Parámetros de Weibull para el cálculo de la mantenibilidad.

Parámetros	Valor
Intersección=	-1,21
β =	1,08
α =	3,07

Realizado por: Allauca, D. 2021

Los parámetros calculados en la Tabla 5-3, se utiliza para el cálculo en función de TTR.

Los cálculos realizados con las ecuaciones (29), (30), (31), aplican de la misma manera para la mantenibilidad y se grafica en función de los tiempos totales de reparación.

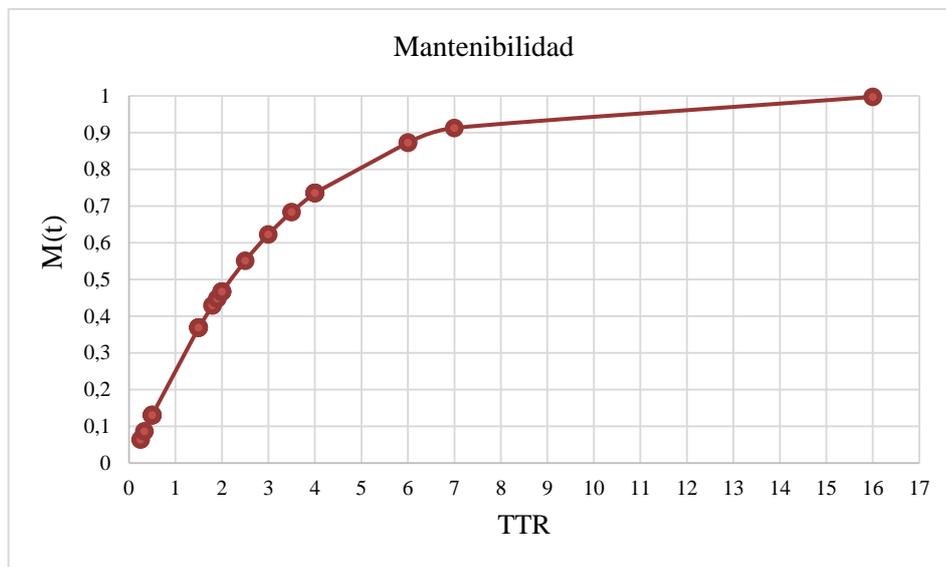


Gráfico 7-3: Mantenibilidad en función de los tiempos totales de reparación.

Realizado por: Allauca, D. 2021

El cálculo del tiempo medio para reparar con la función de Excel se la realiza de la misma manera que la confiabilidad.

$$MTTR = \alpha * \text{EXP}(\text{GAMMA.LN}(1 + (1/\beta))) \quad (32)$$

$$MTTR = 3,07 * \text{EXP}(\text{GAMMA.LN}(1 + (1/1.08)))$$

$$MTTR = 2,98 \text{ horas}$$

3.1.3 Desarrollo del método de Jack Knife

El historial de tiempos totales de reparación se extrae de la Tabla 4-3, y se elabora la plantilla para el diagrama de Jack Knife.

3.1.3.1 Cálculo de Jack Knife a nivel de fallas.

Se calcula los datos de cada falla para obtener el comportamiento y la incidencia de estas dentro del diagrama de dispersión logarítmica y los límites de los indicadores de tiempo medio entre fallos, tasa de fallo e indisponibilidad.

Tabla 6-3: Cálculo de JACK KNIFE a nivel de fallas

N.- Fallos	MTTR (horas)	TBF (horas)	Tasa de falla	I	NIVEL DE PRIORIZACIÓN
1	1,5	792,0	0,001263	0,0018939	AGUDO
2	0,3	7593,0	0,000132	0,0000329	LEVE
3	4,0	2400,0	0,000417	0,0016667	CRÍTICO
4	0,5	3024,0	0,000331	0,0001653	LEVE
5	7,0	1920,0	0,000521	0,0036458	CRÍTICO
6	16,0	6192,0	0,000161	0,0025840	CRÍTICO
7	2,0	1224,0	0,000817	0,0016340	LEVE
8	0,5	2616,0	0,000382	0,0001911	LEVE
9	2,0	1560,0	0,000641	0,0012821	LEVE
10	4,0	1080,0	0,000926	0,0037037	CRÍTICO
11	3,0	4200,0	0,000238	0,0007143	CRÍTICO
12	4,0	312,0	0,003205	0,0128205	AGUDO-CRÍTICO
13	0,5	672,0	0,001488	0,0007440	AGUDO
14	6,0	4008,0	0,000250	0,0014970	CRÍTICO
15	1,5	360,0	0,002778	0,0041667	AGUDO
16	4,0	648,0	0,001543	0,0061728	AGUDO-CRÍTICO
17	0,3	5640,0	0,000177	0,0000591	LEVE
18	0,5	5904,0	0,000169	0,0000847	LEVE
19	3,5	6864,0	0,000146	0,0005099	CRÍTICO
20	6,0	1056,0	0,000947	0,0056818	CRÍTICO
21	0,5	2760,0	0,000362	0,0001812	LEVE
22	2,5	576,0	0,001736	0,0043403	AGUDO
23	2,0	720,0	0,001389	0,0027778	AGUDO
24	2,0	720,0	0,001389	0,0027778	AGUDO
25	1,8	720,0	0,001389	0,0025000	AGUDO
26	1,5	720,0	0,001389	0,0020833	AGUDO
27	1,5	720,0	0,001389	0,0020833	AGUDO
28	1,9	720,0	0,001389	0,0026389	AGUDO
29	16,0	720,0	0,001389	0,0222222	AGUDO-CRÍTICO

Realizado por: Allauca, D. 2021

Al considerar que el cálculo es a nivel de fallas cada tiempo total de reparación se toma como tiempo medio entre fallo.

Para el cálculo de la tasa de fallo se toma los datos calculados de la Tabla 4-3 y con los datos se calcula la indisponibilidad.

Basándose en la ecuación (9) se calcula la indisponibilidad en función del tiempo medio entre fallos y la tasa de fallos.

Graficado los MTTR y tasa de fallo en los ejes correspondientes.

Para el cálculo de los límites se toma las medias de los indicadores y los valores máximos del eje de las abscisas y ordenadas.

Tabla 7-3: Cálculo de los límites de indicadores.

LÍMITE	EJE X	EJE Y
TASA DE FALLA	0,000977656	0,1
	0,000977656	100
MTTR	0,0001	2,98
	0,01	2,98
INDISPONIBILIDAD	0,0001	29,11927256
	0,01	0,291192726

Realizado por: Allauca, D. 2021

Para la tasa de fallos:

- En el eje “x” máximo y mínimo, el valor de la media.
- En el eje “y” se coloca, el máximo y mínimo del eje y

Para el MTTR:

- Se coloca en el eje “x”, máximo y mínimo el valor del eje x
- Se coloca en el eje “y”, máximo y mínimo valor la media de MTTR

Para la Indisponibilidad el cálculo realizado para ajustar sus valores se realiza de la siguiente manera:

- Se coloca en el eje “x”, máximo y mínimo el valor del eje x

En el eje “y” se calcula de acuerdo al valor de la media de la indisponibilidad.

$$\text{LÍMITE INDISPONIBILIDAD} = \frac{\text{INDISPONIBILIDAD}}{\text{valor mínimo eje x}} \quad (33)$$

$$\text{LÍMITE INDISPONIBILIDAD} = \frac{\text{INDISPONIBILIDAD}}{\text{valor máximo eje x}} \quad (34)$$



ANÁLISIS DE PRIORIZACIÓN MÉTODO JACK KNIFE A NIVEL DE SISTEMA

SISTEMAS	MIBF	TIR	Fallas	MTIR	λ	I	NIVEL DE PRIORIZACIÓN
Cilindros neumáticos	1158	12	4	2,88	0,000863558	0,24827%	AGUDO
Eléctrico	6192	16	1	16,00	0,000161499	0,25840%	CRÍTICO
Micro-switch	3510	2	4	0,46	0,0002849	0,01306%	LEVE
Rascador de cepillo	2328	19	3	6,33	0,000429553	0,27205%	CRÍTICO
Rodillos de alimentación	3460	32	8	3,97	0,000289007	0,11470%	LEVE
Rodillos de trituración	699	13	7	1,89	0,001429739	0,26961%	AGUDO
Transmisión por bandas	1008	4	2	1,75	0,000992063	0,17361%	AGUDO
				4,75	0,00063576	0,19%	
				LIMITE	EJE X	EJE Y	
				TASA DE FALLA	0,00063576	0,1	
					0,00063576	100	
				MTTR	0,0001	4,75	
					0,01	4,75	
				INDISPONIBILIDAD	0,0001	19,28139593	
					0,01	0,192813959	

NIVEL DE PRIORIZACIÓN	CUADRANTE
AGUDO-CRÍTICO	I
CRÍTICO	II
AGUDO	IV
LEVE	III

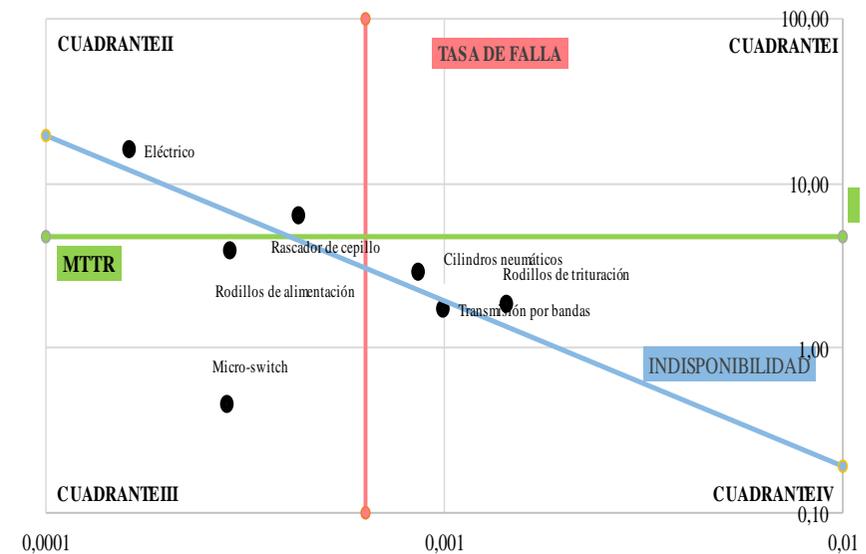


Figura 9-3: Método Jack Knife a nivel de sistema de banco de molienda MDDP 4 cilindros

Realizado por: Allauca, D. 2021

3.1.4 *Método de dispersión de costos a nivel de sistemas para el banco de molinera MDDP 4 cilindros.*

El método de dispersión de costos para las actividades correctivas requiere varios datos de costos de producción y mantenimiento:

Tabla 7-3: Datos de producción del proceso de producción de harina.

Capacidad día (kg)	160000	Capacidad en (saco/hora)	100
Capacidad hora (kg)	6700	Días laborables	30
Jornada diaria	24	Cantidad(kg)	50
Producción	Harina de trigo	Precio unitario (USD)	10,00
Turnos de trabajo	06:00 -14:00	14:00 – 22:00	22:00 – 06:00

Fuente: Base de datos banco de molinera MDDP 4 cilindros

Realizado por: Allauca, D. 2021

Tabla 8-3: Prestaciones del departamento de mantenimiento.

N.-	DESCRIPCIÓN	SUELDO BASICO MENSUAL(USD)
1	JÉFE	1.200,00
5	TÉCNICOS	687,10
6	TOTAL, MENSUAL	4.635,50

Fuente: Base de datos banco de molinera MDDP 4 cilindros

Realizado por: Allauca, D. 2021

Tabla 9-3: Componentes salariales del departamento de mantenimiento.

COMPONENTES	VALOR(USD)
Sueldos Básicos	55.626,00
Cumplimiento	
Décimo Cuarto	2.280,00
Décimo Tercero	4.635,50
IEES	6.202,30
SECAP	278,13
IECE	278,13
Fondos de Reserva	4.635,50
Vacaciones	2.317,75
TOTAL	76.253,31

Fuente: Base de datos banco de molinera MDDP 4 cilindros

Realizado por: Allauca, D. 2021

Los componentes salariales se calculan para obtener el costo de hora-hombre de mantenimiento.

$$Ch/h(USD) = \frac{\sum \text{Componentes salariales}}{(\text{Total de personal de mantenimiento} * 2080)} \quad (35)$$

$$Ch/h = \frac{76.253,31}{(6*2080)}$$

$$Ch/h = 6,11$$

Tabla 10-3: Cálculo de la mano de obra directa de mantenimiento

N.-	SISTEMA	TTR	NTM	h/hm	MOD(USD)
1	Cilindros neumáticos	11,5	2,5	28,75	175,66
2	Eléctrico	4,0	5	20	122,20
3	Micro-switch	1,8	1	1,83	11,20
4	Rascador de cepillo	19,0	4	76	464,36
5	Rodillos de alimentación	31,8	2,375	75,40625	460,74
6	Rodillos de trituración	13,2	2	26,4	161,31
7	Transmisión por bandas	3,5	4	14	85,54

Realizado por: Allauca, D. 2021

NTM: número técnicos de mantenimiento.

El cálculo de la mano de obra directa de mantenimiento se realiza de la siguiente manera:

$$MOD = (TTR * NTM) * Ch/h \quad (36)$$

Mostrado los resultados en la Tabla 10-3, que evalúa la intervención de la mano de obra para los sistemas y el total de fallas, reflejada en la suma total del tiempo total de reparación.

Tabla 11-3: Cálculo de costo de materiales y repuestos para cada sistema.

SISTEMA	P. TOTAL(USD)
Cilindros neumáticos	397,79
Eléctrico	2.333,19
Micro-switch	37,44
Rascador de cepillo	45,00
Rodillos de alimentación	1.650,73
Rodillos de trituración	736,58
Transmisión por bandas	96,00

Realizado por: Allauca, D. 2021

El Cálculo de costo de materiales y repuestos está en función del precio unitario y la cantidad utilizada en cada actividad de mantenimiento correctivo, ver Tabla 2-3.

El costo por falla se evidencia en función de los datos de producción, ver Tabla 7-3 y se calcula de la siguiente manera.

Tabla 12-3: Cálculo del costo de intervención.

SISTEMA	MOD(USD)	MYR(USD)	C. INTERVENCIÓN(USD)
Cilindros neumáticos	175,66	397,79	573,45
Eléctrico	122,20	2.333,19	2.455,39
Micro-switch	11,20	37,44	48,64
Rascador de cepillo	464,36	45,00	509,36
Rodillos de alimentación	460,74	1.650,73	2.111,47
Rodillos de trituración	161,31	736,58	897,88
Transmisión por bandas	85,54	96,00	181,54

Realizado por: Allauca, D. 2021

El costo de intervención se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Costo de intervención} = \text{MOD} * \text{MyR} \quad (37)$$

$$C. \text{ falla} = \left(\frac{\text{Capacidad hora} * \text{Precio unitario}}{\text{Cantidad}} \right) + (\text{Ch/h} * \text{Total personal de mantenimiento})$$

$$C. \text{ falla} = \left(\frac{6700 \text{kg/h} * 10 \text{ USD}}{50 \text{ kg}} \right) + (6,11 * 6)$$

$$C. \text{ falla (USD/hora)} = 1369,99$$

Al ser un costo estándar para una hora de parada de producción se le asocia de acuerdo al tiempo transcurrido en cada actividad correctiva de mantenimiento.

El diagrama de dispersión de costos se lo construye extrayendo los datos de tiempo medio entre fallas, número de fallas por cada sistema y Cálculo de la tasa de falla en función de los tiempos entre fallos, ver Figura 9-3.

Los límites de costo global total, costo global específico e indisponibilidad se calculan de la misma manera que los límites para el análisis de Jack Knife.

Siendo así que la Figura 10-3, muestra el modelo de dispersión de costos, identificando que sistema según el cuadrante que se encuentra de acuerdo al número de fallas y al tiempo total de reparación, representa un costo elevado por esta la máquina en inactividad, aumentando los costos de falla y la mano de obra, llamada así al personal de mantenimiento que interviene en la reparación.



ANÁLISIS DE PRIORIZACIÓN

DIAGRAMA DE DISPERSIÓN DE COSTOS A NIVEL DE SISTEMAS

Cf (USD/HORA)	\$ 1.369,99
TIEMPO DE OPERACIÓN(HORAS)	24
DIAS DE OPERACIÓN	30

N.-	SISTEMAS	TTR	NUMERO DE FALLAS	COSTO INTERVENCIÓN	FACTOR DE FALLA α	TASA DE FALLA	MTTR (FALLA/HORA)	C _{ge} (USD/HORA)	I	C _g (USD/HORA)	NIVEL DE PRIORIZACIÓN
1	Cilindros neumáticos	12	4	\$ 573,45	1	0,00086356	2,8750	1,68	0,00248	0,00417	AGUDO-CRÍTICO
2	Eléctrico	16	1	\$ 2.455,39	1	0,00016150	16,0000	0,62	0,00258	0,00160	CRÍTICO
3	Micro-switch	2	4	\$ 48,64	1	0,00028490	0,4583	0,40	0,00013	0,00005	LEVE
4	Rascador de cepillo	19	3	\$ 509,36	1	0,00042955	6,3333	0,81	0,00272	0,00220	CRÍTICO
5	Rodillos de alimentación	32	8	\$ 2.111,47	1	0,00028901	3,9688	1,01	0,00115	0,00115	LEVE
6	Rodillos de trituración	13	7	\$ 897,88	1	0,00142974	1,8857	3,24	0,00270	0,00874	AGUDO-CRÍTICO
7	Transmisión por bandas	4	2	\$ 181,54	1	0,00099206	1,7500	1,54	0,00174	0,00267	AGUDO
PRO MEDIO						0,00063576	5	1,327911526	0,00193	0,00294	

LÍMITES	EJEX	EJE Y
COSTO GLOBAL TOTAL	0,1	0,019281396
COSTO GLOBAL ESPECÍFICO	1,327911526	0,00001
INDISPONIBILIDAD	0,1	0,19281%
	10	0,000192814
	1,327911526	0,1
	10	0,19281%

NIVEL DE PRIORIZACIÓN	CUADRANTE
AGUDO-CRÍTICO	I
CRÍTICO	II
AGUDO	IV
LEVE	III

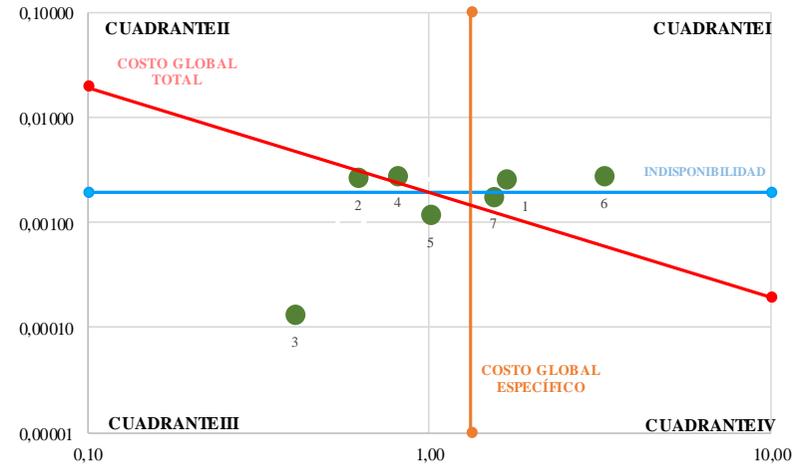


Figura 10-3: Diagrama de dispersión de costos a nivel de sistema, banco de molienda MDDP 4 cilindros

Realizado por: Allauca, D. 2021

Para el cálculo del costo global específico total se lo realiza según el criterio del cálculo de costo global, ver Figura 2-2, la cual relaciona el costo de intervención, la tasa de falla, costo por falla y el factor de falla.

Para calcular el costo global específico se realiza el producto de la indisponibilidad por el costo global específico.

3.1.4.1 Método de dispersión de costos a nivel de fallas para el banco de molinera MDDP 4 cilindros.

De acuerdo a la misma metodología a nivel de sistemas para el cálculo de costos en función de disponibilidad, es así que se calcula el costo de intervención, materiales y repuestos ocupados en cada falla, ver Tabla 13-3, que de acuerdo al tiempo de reparación y número de técnicos se realiza el respectivo cálculo.

Tabla 13-3: Cálculo de costo de intervención, banco de molinera MDDP 4 cilindros.

N. FALLA	TIR	NTM	h/hm	MOD(USD)	M Y R (USD)	Costo de Intervención (USD)
1	1,5	4	6	36,66	48	84,66
2	0,25	2	0,5	3,06	105,225	108,28
3	4	2	8	48,88	21,7404	70,62
4	0,5	1	0,5	3,06	9,36	12,42
5	7	4	28	171,08	15	186,08
6	4	5	20	122,20	2333,19	2455,39
7	2	4	8	48,88	48	96,88
8	0,5	1	0,5	3,06	9,36	12,42
9	2	2	4	24,44	206,46	230,90
10	4	2	8	48,88	4,41	53,29
11	3	2	6	36,66	4,41	41,07
12	4	2	8	48,88	154,66	203,54
13	0,5	2	1	6,11	105,225	111,34
14	6	4	24	146,64	15	161,64
15	1,5	4	6	36,66	14,93	51,59
16	4	2	8	48,88	52,6125	101,49
17	0,333333	1	0,333333	2,04	9,36	11,40
18	0,5	2	1	6,11	105,225	111,34
19	3,5	2	7	42,77	105,225	148,00
20	6	4	24	146,64	15	161,64
21	0,5	1	0,5	3,06	9,36	12,42
22	2,5	2	5	30,55	105,225	135,78
23	2	2	4	24,44	105,225	129,67
24	2	2	4	24,44	105,225	129,67
25	1,8	2	3,6	22,00	105,225	127,22
26	1,5	2	3	18,33	105,225	123,56
27	1,5	2	3	18,33	105,225	123,56
28	1,9	2	3,8	23,22	105,225	128,44
29	16	5	80	488,80	1168,4	1657,20

Realizado por: Allauca, D. 2021

Tabla 14-3: Cálculo de costos global y específico a nivel de fallas.

N.- Fallos	MTTR (horas)	TBF (horas)	Tasa de falla	I	NIVEL DE PRIORIZACIÓN
1	1,5	792,0	0,001263	0,0018939	AGUDO
2	0,3	7593,0	0,000132	0,0000329	LEVE
3	4,0	2400,0	0,000417	0,0016667	CRÍTICO
4	0,5	3024,0	0,000331	0,0001653	LEVE
5	7,0	1920,0	0,000521	0,0036458	CRÍTICO
6	16,0	6192,0	0,000161	0,0025840	CRÍTICO
7	2,0	1224,0	0,000817	0,0016340	LEVE
8	0,5	2616,0	0,000382	0,0001911	LEVE
9	2,0	1560,0	0,000641	0,0012821	LEVE
10	4,0	1080,0	0,000926	0,0037037	CRÍTICO
11	3,0	4200,0	0,000238	0,0007143	CRÍTICO
12	4,0	312,0	0,003205	0,0128205	AGUDO-CRÍTICO
13	0,5	672,0	0,001488	0,0007440	AGUDO
14	6,0	4008,0	0,000250	0,0014970	CRÍTICO
15	1,5	360,0	0,002778	0,0041667	AGUDO
16	4,0	648,0	0,001543	0,0061728	AGUDO-CRÍTICO
17	0,3	5640,0	0,000177	0,0000591	LEVE
18	0,5	5904,0	0,000169	0,0000847	LEVE
19	3,5	6864,0	0,000146	0,0005099	CRÍTICO
20	6,0	1056,0	0,000947	0,0056818	CRÍTICO
21	0,5	2760,0	0,000362	0,0001812	LEVE
22	2,5	576,0	0,001736	0,0043403	AGUDO
23	2,0	720,0	0,001389	0,0027778	AGUDO
24	2,0	720,0	0,001389	0,0027778	AGUDO
25	1,8	720,0	0,001389	0,0025000	AGUDO
26	1,5	720,0	0,001389	0,0020833	AGUDO
27	1,5	720,0	0,001389	0,0020833	AGUDO
28	1,9	720,0	0,001389	0,0026389	AGUDO
29	16,0	720,0	0,001389	0,0222222	AGUDO-CRÍTICO

Realizado por: Allauca, D. 2021

El cálculo de costo de falla calculado se le utiliza de la misma manera en este caso para cada modo de falla, obteniendo el valor de costo global específico, ver Figura 10-3.

Los límites de indisponibilidad, costo global específico y costo global se calcula de la misma manera que el diagrama de dispersión de costos a nivel de sistemas, ver Figura 10-3.

Con los límites calculados y los valores de la Tabla 14-3, se construye el gráfico de dispersión de costos que muestra la incidencia de las fallas en los costos de mantenimiento y producción, de la misma manera las deficiencias para la repetitividad de los fallos en el intervalo de evaluación.

NIVEL DE PRIORIZACIÓN	CUADRANTE	LÍMITE	EJE X	EJE Y
AGUDO-CRÍTICO	I	TASA DE FALLA	0,000977656	0,1
CRÍTICO	II	TASA DE FALLA	0,000977656	100
AGUDO	IV	MTR	0,0001	2,98
LEVE	III	MTR	0,01	2,98
		INDISPONIBILIDAD	0,0001	29,11927256
		INDISPONIBILIDAD	0,01	0,291192726

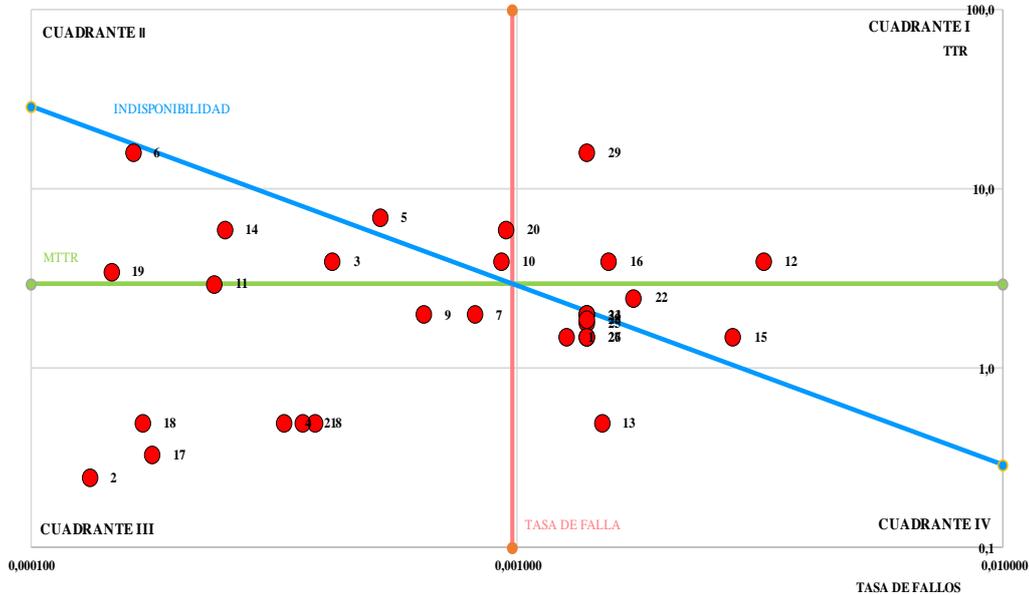


Gráfico 9-3: Diagrama de dispersión de costos de fallas, banco de molineta MDDP 4 cilindros.

Realizado por: Allauca, D.2021

3.2 Cálculo del costo de ciclo de vida y tiempo óptimo de remplazo.

De la Tabla 1-3 y 2-3 se realiza la descomposición de los costos de mantenimiento correctivo y preventivo a través de tablas dinámicas, para el desarrollo del modelo, ver Anexo B.

Los cálculos requeridos para el desarrollo del modelo son los siguientes:

- Costos de intervención de mantenimiento preventivo y correctivo
- Costos de materiales y repuestos de mantenimiento preventivo y correctivo
- Horas de mantenimiento preventivo y correctivo

Todos los cálculos se realizan a través de tablas dinámicas para que se evalué los costos en función de los sistemas y los años de intervención que fallo cada uno de ellos, ver Anexo C.

El modelo realizado para el cálculo de costo de ciclo de vida se lo realiza en él, periodo de evaluación otorgado por la base de datos, la cual se realiza en un lapso de 11 años desde la adquisición hasta la fecha del ultimo mantenimiento registrado en la base de datos.

CÁLCULO DE COSTO DE CICLO DE VIDA Y TIEMPO ÓPTIMO DE REMPLAZO										
Costos suministro(USD/sem)	\$	188,00		Potencia trituracion (kw/h)		50		Costo kw/h(ctvs)		0,8
Costo de falla (USD/hora)	\$	1.369,99		Potencia compresion (kw/h)		22				
Costo de Adquisición	\$	300.000,00		Horas de operación (horas)		24				
Horas de operación ideal		8520		Días de operación (horas)		30				
Costos de Mantenimiento										
		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
Mano de obra		76253,309	76265,309	76277,309	76289,309	76289,309	76289,309	76289,309	76289,309	76289,309
Materiales y Repuestos		4215,24	4215,24	4215,24	4215,24	4215,24	4215,24	4215,24	4215,24	4215,24
Costos de Operación										
Mano de obra	\$	154.405,62	\$ 154.417,62	\$ 154.429,62	\$ 154.441,62	\$ 154.441,62	\$ 154.441,62	\$ 154.441,62	\$ 154.441,62	\$ 154.441,62
Suministros	\$	9.610,56	\$ 9.610,56	\$ 9.610,56	\$ 9.610,56	\$ 9.610,56	\$ 9.610,56	\$ 9.610,56	\$ 9.610,56	\$ 9.610,56
Energía eléctrica	\$	41.472,00	\$ 41.472,00	\$ 41.472,00	\$ 41.472,00	\$ 41.472,00	\$ 41.472,00	\$ 41.472,00	\$ 41.472,00	\$ 41.472,00
Totales										
Costo total de mantenimiento	\$	82.824,84	\$ 87.235,79	\$ 115.024,74	\$ 93.757,58	\$ 102.592,90	\$ 81.940,12	\$ 93.793,24	\$ 121.308,13	
Costo total de operación	\$	205.488,18	\$ 205.500,18	\$ 205.512,18	\$ 205.524,18	\$ 205.524,18	\$ 205.524,18	\$ 205.524,18	\$ 205.524,18	\$ 205.524,18
Costo total	\$	288.313,02	\$ 292.735,97	\$ 320.536,92	\$ 299.281,76	\$ 308.117,08	\$ 287.464,30	\$ 299.317,42	\$ 326.832,31	
Horas de Operación										
		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
Horas de parada correctiva		1,5	4,75	25	9,5	16	0,83	9,5	29,7	
Horas preventivas		11,5	7,00	9	8	6,00	9,00	12	1	
Horas de operación		8518,5	8515,25	8495	8510,5	8504	8519,167	8510,5	8490,3	
Costos por Mantenimiento										
Costo por mantenimiento correctivo	\$	2.139,65	\$ 6.592,13	\$ 34.334,50	\$ 13.099,60	\$ 22.004,56	\$ 1.226,32	\$ 13.099,60	\$ 40.773,47	
Costo por mantenimiento preventivo	\$	216,64	\$ 163,11	\$ 197,69	\$ 153,43	\$ 83,80	\$ 209,25	\$ 189,09	\$ 30,11	

Figura 11-3: Cálculo de costo de ciclo de vida, banco de molienda MDDP de 4 cilindros.

Realizado por: Allauca, D. 2021

Los datos de costo de adquisición, potencia del banco de molienda, se lo extrae de la bitácora de la máquina, ver Anexo A.

3.2.1 *Tiempo óptimo de replazo.*

De la Figura 11-3 se extrae los datos de horas de mantenimiento preventivo y correctivo al igual que los costos de mantenimiento, para calcular el tiempo óptimo de replazo de acuerdo al criterio de la ecuación (22).

Uno de los parámetros calculados para llegar al tiempo de replazo es el costo por indisponibilidad preventiva o correctiva, de esta manera se evalúa de la siguiente manera:

$$\text{INDISPONIBILIDAD} = \text{Mcu} * \text{Capacidad}(\text{sacos/hora}) * \text{Total de horas preventivas} \quad (38)$$

$$\text{INDISPONIBILIDAD} = \text{Mcu} * \text{Capacidad}(\text{sacos/hora}) * \text{Total de horas correctivas} \quad (39)$$

Donde Mcu representa al margen de contribución unitaria, que es la diferencia entre el precio de venta y los costos de producir, tomando así un valor referencial para el análisis.

La indisponibilidad o lucro cesante se aplica de la misma manera para el mantenimiento correctivo como preventivo.

De acuerdo al valor de confiabilidad se desglosa los costos de mantenimiento, es así que se emplea un criterio de 100 probabilidades y se calcula los costos preventivos y correctivo.

Tomando en cuenta el tiempo de evaluación t_p se divide los 11 años de evaluación en semanas y se le asocia en un intervalo de 100 datos para las 572 semanas.

De acuerdo al valor de la probabilidad se calcula el tiempo de replazo de la siguiente manera:

$$t_p = \alpha \left[\ln \left(\frac{1}{1-F(t)} \right) \right]^{\left(\frac{1}{\beta} \right)} \quad (40)$$

De esta manera se obtiene valores en horas de replazo de acuerdo a la probabilidad de la confiabilidad.

De acuerdo a la Figura 12-3, se propone un modelo de cálculo, de esta manera se evalúa en horas, semanas y años óptimos de replazo.

TIEMPO ÓPTIMO DE REMPLAZO

Código MDDP01
Equipo BANCO DE MOLIENDA DE 4 CILINDROS
Área Molienda
Fecha martes, 9 de febrero de 2021

Realizado por:

Dario Fernando Allauca Naranjo

Datos de operación		Datos de Mantenimiento		Confiabilidad						
Horas de operación	8508 horas	Número de técnicos	6	α	2992,58					
Jornada(horas)	24 horas	Costo h/h	6,11	β	1,31					
Dias	7	Horas correctivas	96,78	λ (fallas/año)	5,37					
Mes	30 días	Horas preventivas	63,5	R(t)	95%					
Capacidad	100 sacos/hora	Materiales y Repuestos	4215,24	F(t)	5%					
Mcu	5 usd/und	Tiempo de evaluación(semanas)	572							
Costo de Mantenimiento Preventivo			Costo de Mantenimiento Correctivo							
Horas extras		Horas extras								
Indisponibilidad \$	31.750,00	Indisponibilidad \$	48.391,67							
Costo de MP \$	1.243,13	Costo MC unitar \$	52.606,91							
Costo MP unitaric \$	35.965,24									
1-F(t)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
Tiempo de replazo (horas)	9583,87	8463,43	7786,26	7294,48	6905,80	6583,10	6306,36	6063,54	5846,81	5650,80
Tiempo de replazo (semanas)	57,05	50,38	46,35	43,42	41,11	39,19	37,54	36,09	34,80	33,64
Tasa acumulada de fallas MP	0,89	1,01	1,09	1,17	1,23	1,29	1,35	1,40	1,46	1,51
Tasa acumulada de fallas MC	4,09	3,93	3,83	3,75	3,69	3,64	3,59	3,54	3,50	3,47
tp	6	11	17	23	29	34	40	46	51	57
CTE	6380	3237	2189	1666	1352	1143	994	882	795	726

Figura 12-3: Cálculo del tiempo óptimo de replazo, banco de molienda MDDP 4 cilindros.

Realizado por: Allauca, D. 2021

De acuerdo a la Figura 12-3, se puede apreciar que en función de datos de operación, mantenimiento y confiabilidad se calcula el costo total en el intervalo de evaluación, para lo cual se emplea la ecuación (22)

Cabe indicar que los datos expuestos en la Figura 12-3, es una parte de los datos, ver Anexo.

Tabla 15-3: Tiempo óptimo de replazo en función del valor mínimo de costo total.

Confiabilidad de replazo	83%
Tiempo óptimo(semanas)	372
Tiempo optimo (años)	7
Tiempo de replazo (horas)	8928
Tasa acumulada de fallas al año H(t)	3,94

Realizado por: Allauca, D. 2021

El cálculo del tiempo óptimo de replazo en semanas se obtiene de acuerdo al mínimo valor del costo total en el periodo de evaluación.

La tasa acumulada de fallas se obtiene en función del tiempo de operación requerido al año y los parámetros alfa y beta del cálculo de la confiabilidad.

$$H_t = \left(\frac{\text{Horas de operación}}{\alpha} \right)^\beta \quad (41)$$

Se obtiene los datos para el cálculo de la ecuación (26) de la Figura 12-3, obteniendo así el valor de tasa acumuladas de fallas al año.

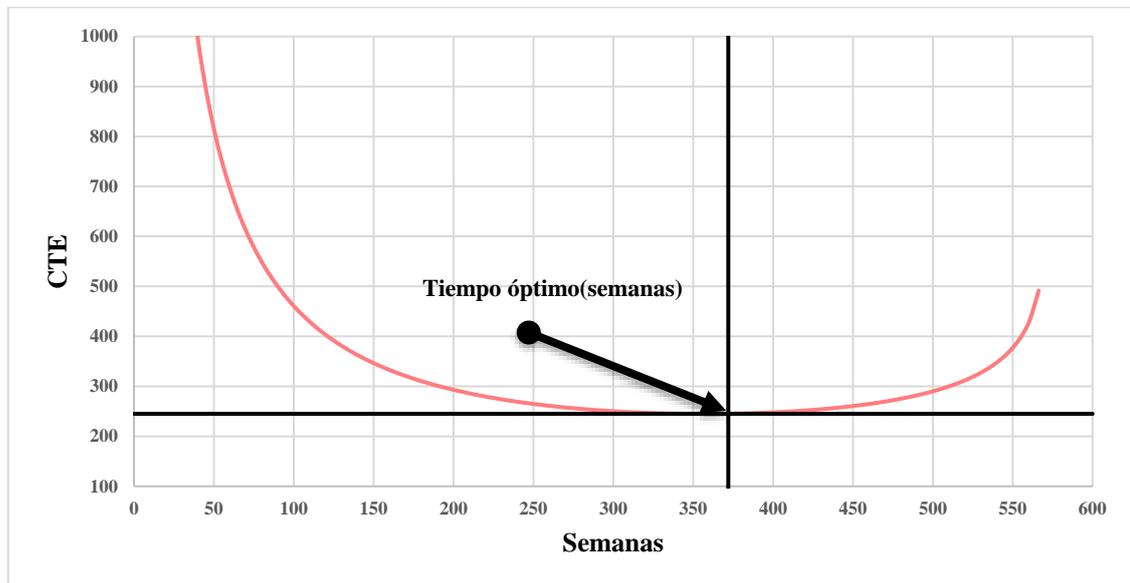


Gráfico10-3: Tiempo óptimo de replazo, banco de mollienda MDDP 4cilindros.

Realizado por: Allauca, D. 2021

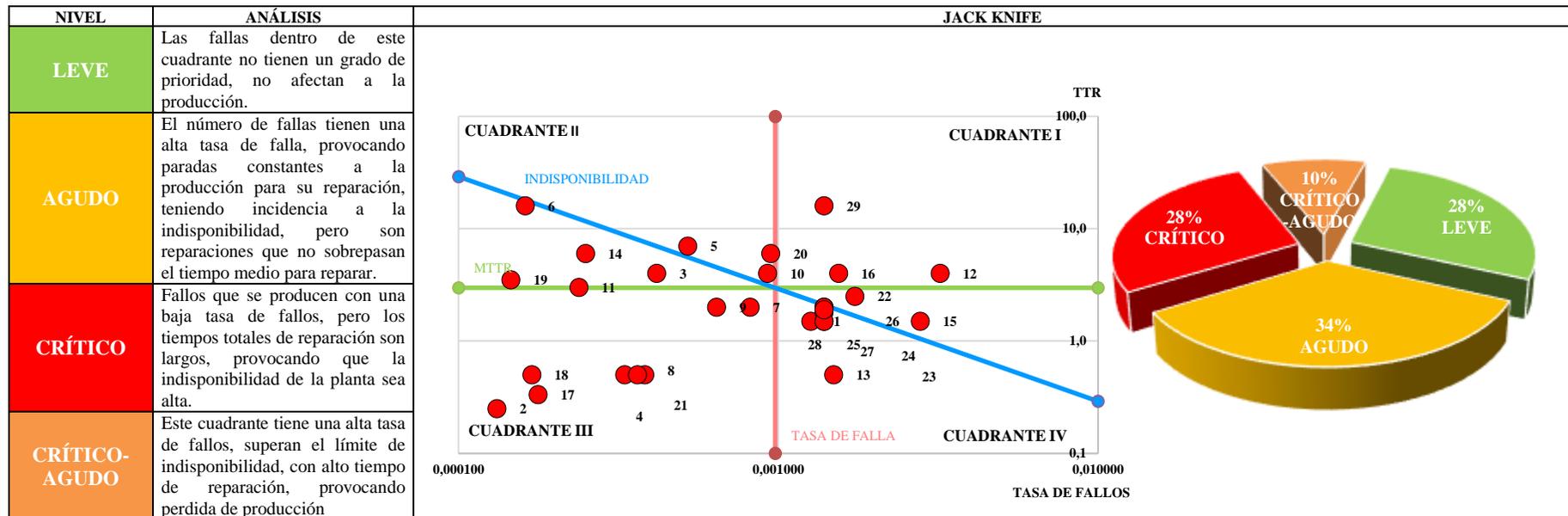
El número de semanas óptimas para replazar en función de los costos preventivos y correctivos y a la pérdida de producción se muestra en el Gráfico 10-3.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Propuestas de priorización de tareas para fallas a través del método de Jack Knife.

Tabla 1-4: Nivel de priorización de fallas, banco de molienda MDDP 4 cilindros



Realizado por: Allauca, D.2021

Tabla 2-4: Propuesta de mejora de acuerdo al nivel de priorización.

NIVEL DE PRIORIZACIÓN	NÚMERO DE FALLAS	PROPUESTA
LEVE	2, 18, 17, 4, 21, 8, 9, 7	<ul style="list-style-type: none"> Revisión del plan de mantenimiento e incluir limpieza periódica de tableros eléctricos por acumulación de harina en protecciones. Inspección visual de todos los componentes móviles y fijos con frecuencias de acuerdo a cada cambio de turno.
AGUDO	1, 28, 27, 25, 13, 24, 23, 26, 22, 15	<ul style="list-style-type: none"> Calcular el tiempo óptimo de inspección preventiva para el estado de bandas. Control de temperatura de rodillos de trituración y alimentación cada cambio de turno.
CRÍTICO	11, 19, 14, 3, 5, 6, 20, 10	<ul style="list-style-type: none"> Monitoreo de corriente eléctrica en los tableros eléctricos. Capacitación al personal operativo en principios de electricidad y toma de datos en tableros eléctricos en cada turno. Registrar datos de corriente y temperatura de los bancos de molienda,
AGUDO-CRÍTICO	29, 16, 12	<ul style="list-style-type: none"> Entrenamiento y capacitación al personal de mantenimiento en técnicas de monitoreo y diagnóstico de fallas, de componentes móviles y estáticos. Selección de protecciones eléctricas de acuerdo a la potencia del motor en molinos de alta compresión.

Realizado por: Allauca, D.2021

4.2 Propuesta de priorización de sistemas a través del método Jack Knife.

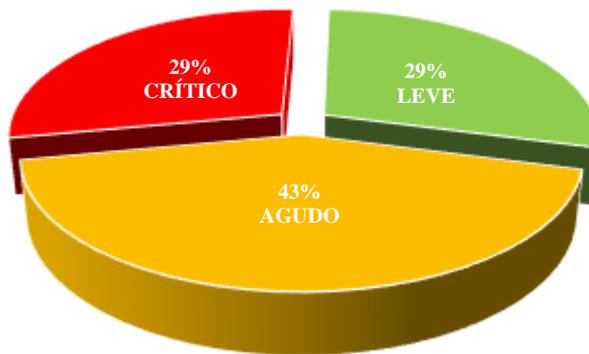
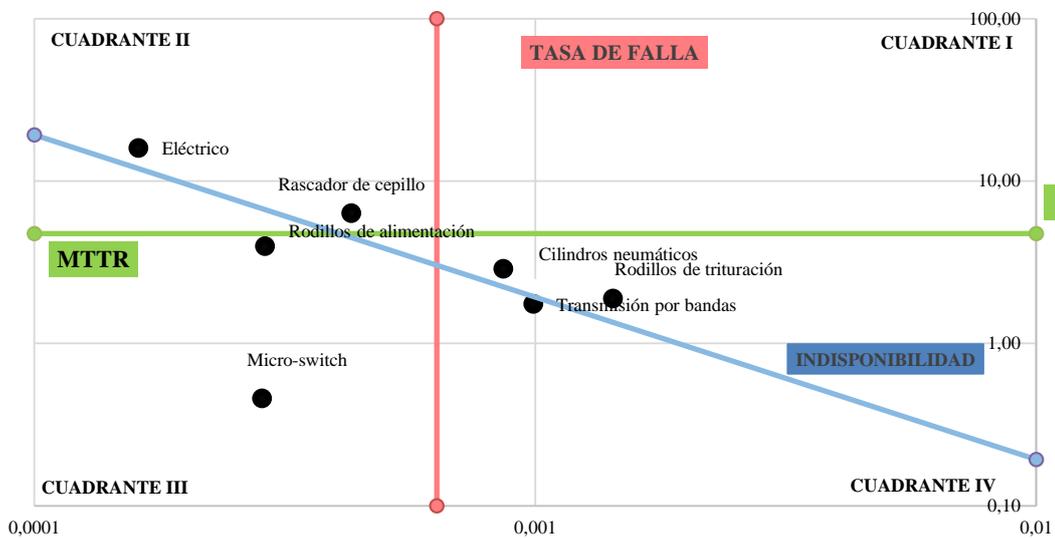
Tabla 3-4: Nivel de priorización de sistemas, banco de molienda MDDP 4cilindros.

NIVEL DE PRIORIZACIÓN	SISTEMAS	ÁNÁLISIS
AGUDO	Cilindros neumáticos	La lubricación tiene gran incidencia en el funcionamiento del embrague que es parte de los cilindros neumáticos, permitiendo alcanzar la velocidad de rotación, pero al no tener una lubricación correcta se realiza un fallo periódico con alta repetitividad ocasionando paradas de planta con tiempos cortos, pero de alta frecuencia.
CRÍTICO	Eléctrico	Al quemarse el motor eléctrico la parada de planta se excede ocasionando pérdida de producción, y tiempo de remplazo excesivo ya que el remplazo por un equipo nuevo, de esta manera organizar al personal de mantenimiento para el desmontaje y montaje, y pruebas de funcionamiento antes de arrancar la producción.
LEVE	Micro-switch	Al ser un equipo electromecánico con los picos de corriente y extendidas horas de molienda, se deteriora y se reemplaza, cada que ocurre su fallo, no afectando a la producción con tiempos largos de remplazo, y su repetitividad de falla es baja.
CRÍTICO	Rascador de cepillo	El personal operativo este encargado del control del flujo de extracción de harina de trigo y de la temperatura en la extracción, si la temperatura excede y los cepillos no se encuentran en buen estado, se empastan los rodillos ocasionando pérdida de rotación de los rodillos, acumulando producto en el paso entre rodillos, demorando el reinicio de molienda por limpieza de producto y remplazo de cepillo.
LEVE	Rodillos de alimentación	La carga de producto al no tener un criterio de ajustes en los rodillos, descalibra la carga a los dos lados de extracción de trigo y harina, ocasionando paradas cortas de planta hasta la calibración, la incidencia de esto se da a que la calibración no tiene los parámetros requeridos para el equilibrio de cargas.
AGUDO	Rodillos de trituración	La posición de los rodillos en la trituración ocasionan que el grano sea cortado en diferentes dimensiones, esto se provoca porque la calibración de rodillos se realizó en diferentes aprietes y la abertura entre rodillos tiende a ser diferentes tramos, ya que con el aumento de temperatura los rodillos tienden a comprimirse, de esta manera la repetitividad de falla, es notoria al no realizar la calibración, comprometiendo a los rodillos que sufren mayor desgaste y rozamiento entre el eje y el elemento rodante.
AGUDO	Transmisión por bandas	Para alcanzar los parámetros de calidad se requiere el ajuste de rodillos para extraer la mayor cantidad de harina, aumentando la temperatura, y consiguiendo el aumento de fricción en las bandas, desgastándose más rápido y ocasionando paradas de planta imprevistas y derramamiento de producto por las puertas de los bancos de molienda, de esta manera la calidad de la banda o el pretensado puede no ser el adecuado ya que los fallos son repetitivos por bandas quemadas.

Realizado por: Allauca, D.2021

Tabla 4-4: Propuesta de mejora de acuerdo al nivel de priorización.

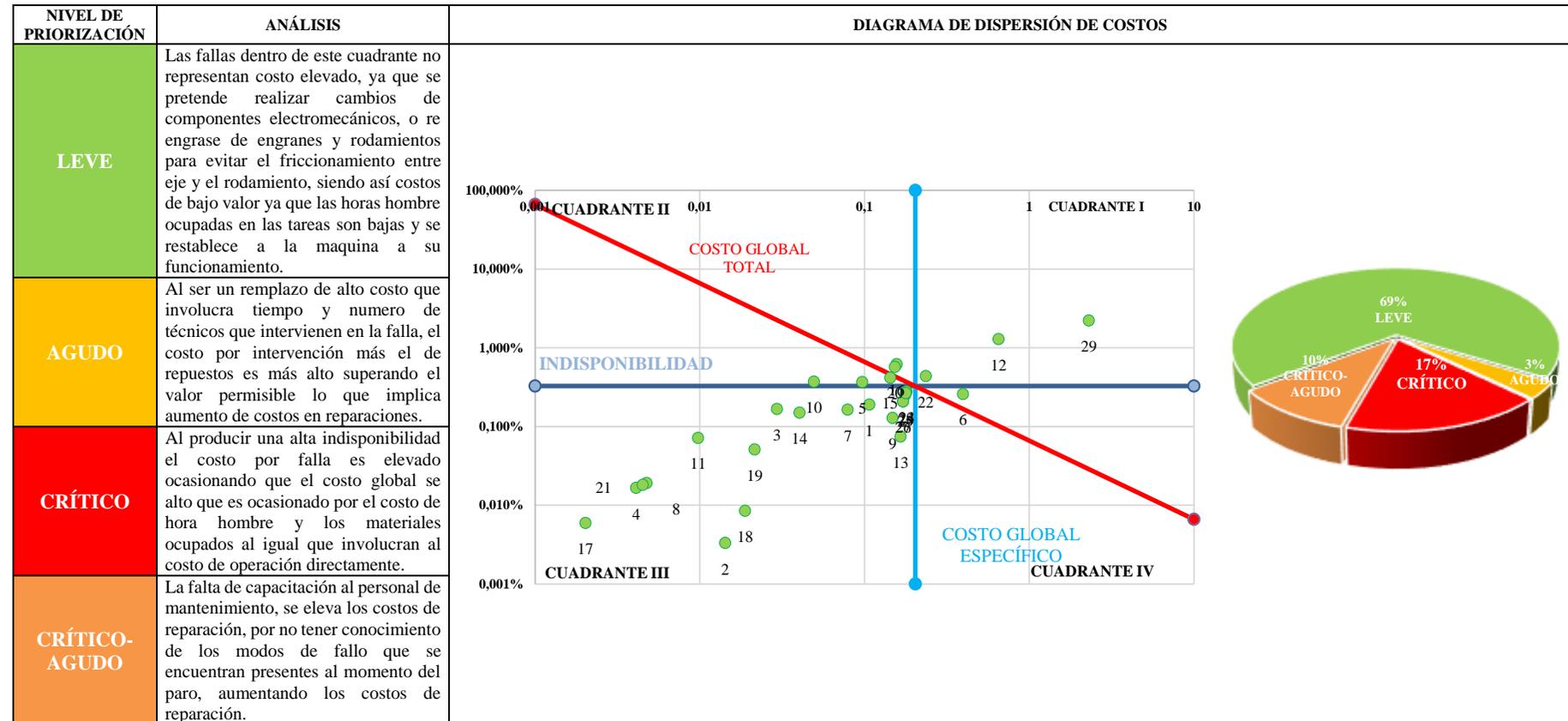
NIVEL DE PRIORIZACIÓN	SISTEMAS	PROPUESTA
AGUDO	Cilindros neumáticos	Calcular el número de gotas o cantidad de grasa requerida de acuerdo a la compresión entre rodillos y extracción de harina requerida
CRÍTICO	Eléctrico	Implementar tareas de monitoreo de la condición basadas en termografía, para control de temperatura en tablero eléctrico.
LEVE	Micro-switch	Cotizar componentes de las mismas características con diferentes proveedores, evaluando la calidad y garantía de vida.
CRÍTICO	Rascador de cepillo	Implantación de mantenimiento autónomo, capacitación al personal operativo en cambio de componentes no complejos.
LEVE	Rodillos de alimentación	Calibración de rodillos de acuerdo a la extracción requerida de harina. Realizar un análisis de modo y efecto de fallas para determinar si se requiere una sustitución o un rediseño.
AGUDO	Rodillos de trituración	Establecer un plan de mantenimiento alternativo basado en monitoreo de la condición, de acuerdo al comportamiento de los rodamientos evaluados por vibraciones y ultrasonido.
AGUDO	Transmisión por bandas	Inspección visual de desgaste de bandas, con frecuencias a intervalos definidos, se propone cada cambio de turno



Realizado por: Allauca, D.2021

4.3 Propuesta de priorización de fallas a través del diagrama de dispersión de costos.

Tabla 5-4: Nivel de priorización de fallas, banco de molienda MDPP 4 cilindros.



Realizado por: Allauca, D.2021

Tabla 6-4: Propuesta de mejora de acuerdo al nivel de priorización del diagrama de costos.

NIVEL DE PRIORIZACIÓN	NÚMERO DE FALLAS	PROPUESTA
LEVE	17, 21, 4, 8, 11, 19, 3, 14, 10, 7, 1, 5, 15, 9, 13, 2, 8, 4, 20,	<ul style="list-style-type: none"> • Contar con el numero prioritario de repuestos para reducir el costo total de la reparación, con la menor indisponibilidad. • Asignar mayores tareas de inspección o monitoreo de componentes eléctricos o electrónicos.
AGUDO	6	<ul style="list-style-type: none"> • Disponer de todo el personal de mantenimiento para realizar actividades correctivas que involucren calibración, remplazo.
CRÍTICO	29, 18	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitar al personal de operaciones, para reducir el tiempo de reparación, de mantenimientos de remplazo de componentes no complejos.
AGUDO-CRÍTICO	22, 12, 29	<ul style="list-style-type: none"> • Se involucra mucho al mantenimiento preventivo, y se debería realizar un análisis costo beneficio de cual técnica de mantenimiento es económicamente más recomendada para reducir en costos de intervención

Realizado por: Allauca, D. 2021

4.4 Propuesta de priorización de sistemas a través del diagrama de dispersión de costos.

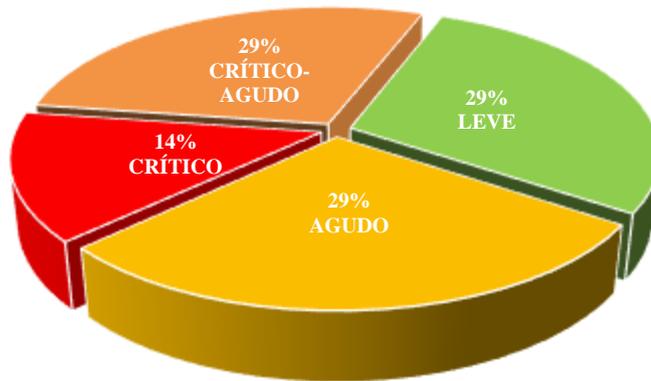
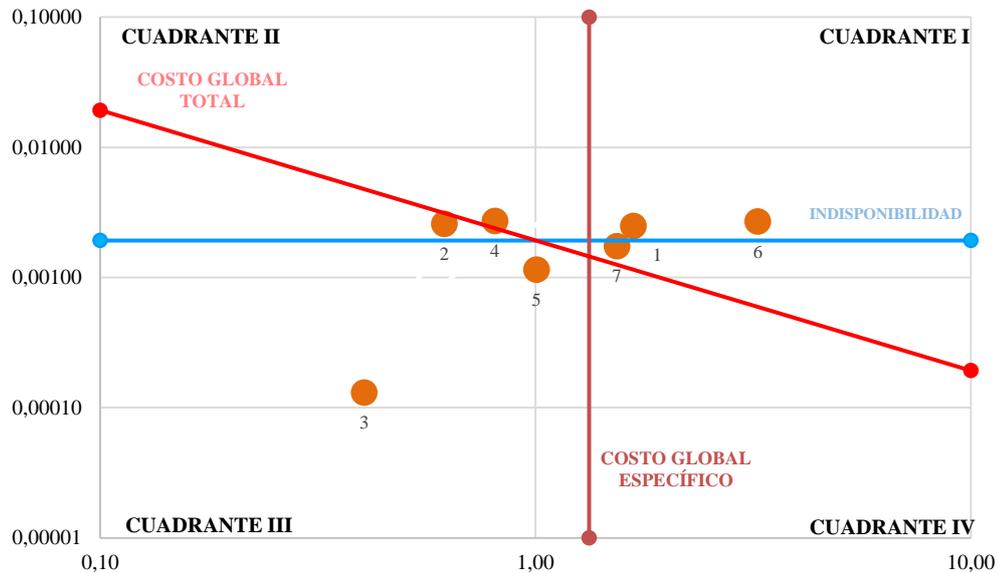
Tabla 7-4: Nivel de priorización de sistemas a través del diagrama de dispersión de costos.

NIVEL DE PRIORIZACIÓN	SISTEMAS	ANÁLISIS
AGUDO-CRÍTICO	Cilindros neumáticos	La lubricación tiene gran incidencia en el funcionamiento del embrague que es parte de los cilindros neumáticos, permitiendo alcanzar la velocidad de rotación, pero al no tener una lubricación correcta se realiza un fallo periódico con alta repetitividad ocasionando paradas de planta con tiempos cortos, pero de alta frecuencia.
CRÍTICO	Eléctrico	Al quemarse el motor eléctrico la parada de planta se excede ocasionando pérdida de producción, y tiempo de remplazo excesivo ya que el remplazo por un equipo nuevo, de esta manera organizar al personal de mantenimiento para el desmontaje y montaje, y pruebas de funcionamiento antes de arrancar la producción.
LEVE	Micro-switch	Al ser un equipo electromecánico con los picos de corriente y extendidas horas de molienda, se deteriora y se reemplaza, cada que ocurre su fallo, no afectando a la producción con tiempos largos de remplazo, y su repetitividad de falla es baja.
CRÍTICO	Rascador de cepillo	El personal operativo este encargado del control del flujo de extracción de harina de trigo y de la temperatura en la extracción, si la temperatura excede y los cepillos no se encuentran en buen estado, se empastan los rodillos ocasionando pérdida de rotación de los rodillos, acumulando producto en el paso entre rodillos, demorando el reinicio de molienda por limpieza de producto y remplazo de cepillo.
LEVE	Rodillos de alimentación	La carga de producto al no tener un criterio de ajustes en los rodillos, descalibra la carga a los dos lados de extracción de trigo y harina, ocasionando paradas cortas de planta hasta la calibración, la incidencia de esto se da a que la calibración no tiene los parámetros requeridos para el equilibrio de cargas.
AGUDO-CRÍTICO	Rodillos de trituración	La posición de los rodillos en la trituración ocasionan que el grano sea cortado en diferentes dimensiones, esto se provoca porque la calibración de rodillos se realizó en diferentes aprietes y la abertura entre rodillos tiende a ser diferentes tramos, ya que con el aumento de temperatura los rodillos tienden a comprimirse, de esta manera la repetitividad de falla, es notoria al no realizar la calibración, comprometiendo a los rodamientos que sufren mayor desgaste y rozamiento entre el eje y el elemento rodante.
AGUDO	Transmisión por bandas	Para alcanzar los parámetros de calidad se requiere el ajuste de rodillos para extraer la mayor cantidad de harina, aumentando la temperatura, y consiguiendo el aumento de fricción en las bandas, desgastándose más rápido y ocasionando paradas de planta imprevistas y derramamiento de producto por las puertas de los bancos de molienda, de esta manera la calidad de la banda o el pretensado puede no ser el adecuado ya que los fallos son repetitivos por bandas quemadas.

Realizado por: Allauca, D. 2021

Tabla 8-4: Propuesta de mejora de acuerdo al nivel de priorización de diagrama de costos.

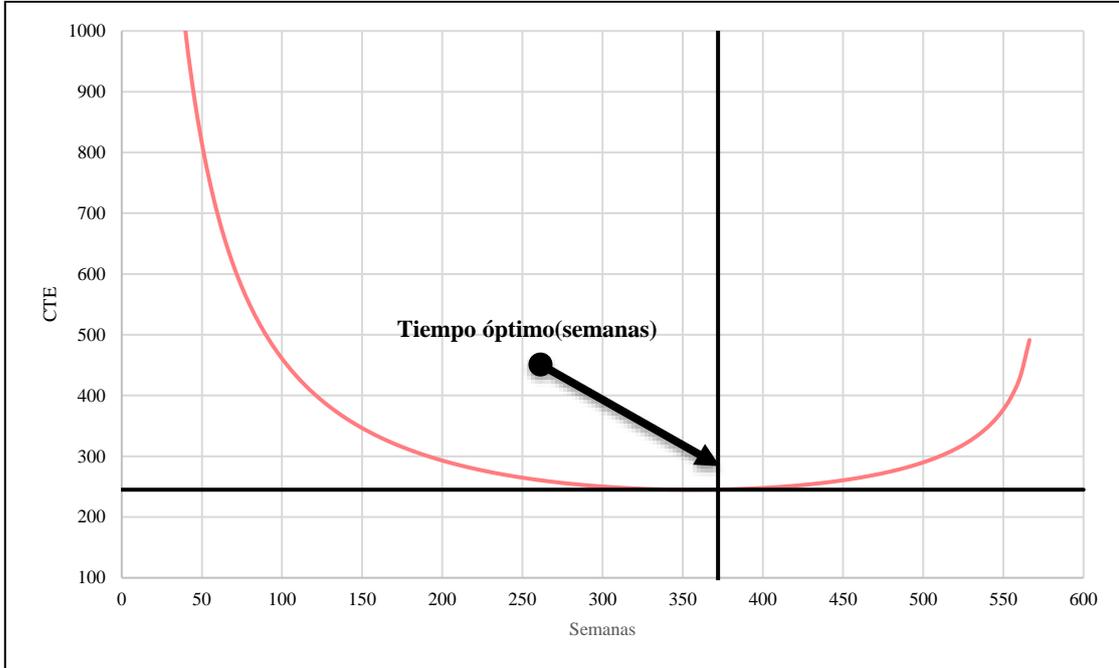
NIVEL DE PRIORIZACIÓN	SISTEMAS	PROPUESTA
AGUDO-CRÍTICO	Cilindros neumáticos	Realizar un análisis de aceite para re calcular la frecuencia óptima de lubricación
CRÍTICO	Eléctrico	Tareas de monitoreo de la condición a través de termografía a tableros eléctricos y motor. Cálculo del tiempo óptimo de inspección preventiva. Aplicar distribución exponencial para evaluar los componentes eléctricos del banco de molienda
LEVE	Micro-switch	Compras de micro-switch de mayor resistencia a los picos de corriente por arranque de moliendas para reducir la probabilidad de corto circuito en el interior del equipo.
CRÍTICO	Rascador de cepillo	Capacitación a operadores en monitoreo de componentes que eviten el empastado de harina, de acuerdo al estado de desgaste de los cepillos.
LEVE	Rodillos de alimentación	Calibración de acuerdo al tamaño de trigo para reducir el friccionamiento que reduce la película de lubricación.
AGUDO-CRÍTICO	Rodillos de trituración	Monitoreo de la condición en rodamientos, aplicando ultrasonido. Contratación de servicio externo para monitoreo de la condición.
AGUDO	Transmisión por bandas	Inspección visual cada cambio de turno, con reporte en base de datos para dar seguimiento al desgaste periódico de bandas. Cotizar una marca diferente de bandas y medir el pretensado. Implementar capacitación al personal de operaciones en ajustes de rodillos para compresión de harina sin cargar de sobre esfuerzo a las bandas.



Realizado por: Allauca, D.2021

4.5 Costo de ciclo de vida (USD). y tiempo óptimo de remplazo.

Código	MDDP01	Adquisición	300.000,00
Equipo	Banco de molienda MDDP 4 cilindros	Operación	1.644.121,44
Área	Molienda	Mantenimiento	778.477,35
Fecha	1/2/1999	Desincorporación	11.500,00



ANÁLISIS	<p>Una confiabilidad de 83%, con una tasa acumulada de fallas de aproximadamente de 4 al año, representa que el banco de molienda MDDP 4 cilindros está entrando en una etapa de desgaste, ya que la tasa de falla se encuentra en ascenso por el desgaste que presenta la máquina por la jornada de trabajo 24/7 y que cada molienda es diferente de acuerdo a los parámetros de calidad de producción, hace que los ajustes de los rodillos, con el aumento de corriente y temperatura, presente modos de falla que cada vez implican reparaciones y sustituciones de componentes electromecánicos, lubricación de rodamientos de trituración y alimentación, engrase de engranes, de esta manera el contexto operacional de la maquina esta en sobre esfuerzo, llevado también al desgaste por la mala operación de parte de los operadores.</p>
PROPUESTA	<ul style="list-style-type: none"> • Optimización del plan de mantenimiento, reduciendo tareas preventivas, con frecuencias a intervalos muy dispersos. • Calcular el tiempo óptimo de inspección preventiva para componentes electromecánicos. • Mantenimiento basado en la lubricación como medida alternativa al plan maestro de mantenimiento. • Análisis costos beneficio de mantenimientos, preventivo, monitoreo de la condición, correctivo. • Implementación de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para identificar los modos de falla que ocasionan mayor indisponibilidad a la máquina. • Cálculo de los repuestos necesarios anuales, de acuerdo con el desgaste progresivo de la máquina. • Análisis de aceites meropa 460 y 420 cada 30 días de molienda de la planta. • Estudio de la influencia de la harina de trigo en los aparatos de maniobra y protección de, los tableros eléctricos de bancos de molienda.

Las propuestas sugeridas de acuerdo al tiempo óptimo de remplazo de los datos obtenidos hacen referencia a que sería económicamente rentable remplazarlo en un lapso de 11 años de a ver sido adquirido el equipo.

Pero adquirir un equipo nuevo conllevaría a que la tecnología sea diferente a la maquina actual, teniendo que remplazar no solo ésta, si no también comunicación profibus, cableado eléctrico, contratación de servicio externo.

La mejor opción es seguir al menos 10 años más con el equipo, pero aplicando las propuestas sugeridas, y empezar con la optimización del plan de mantenimiento, y mediante lo expuesto por Jack Knife a nivel de sistemas, capacitar al personal de mantenimiento en técnicas efectivas de reparación, al igual que al personal de operación, capacitar en mantenimiento autónomo, en remplazos de electroválvulas, micro. switch, bandas, que reducen el tiempo de indisponibilidad ya que el departamento solo labora en turno de 8 horas diarias y producción trabaja 24/7.

CONCLUSIONES

El método Jack Knife permitió profundizar la causa de las fallas y delimitar que acciones se debe corregir de acuerdo a la criticidad de la falla y al tiempo de inactividad, consiguiendo priorizar que fallas y sistemas afectan a la disponibilidad de la máquina.

La distribución de Weibull permitió determinar los límites del tiempo medio para reparar, utilizado para el método Jack Knife dentro del análisis de fallas sistemas en función de las horas y los parámetros de forma y vida característica usados para el cálculo de la tasa acumulada anual de fallas para el tiempo óptimo de replazo.

El diagrama de dispersión de costos evaluó que sistemas son económicamente más críticos de acuerdo al tiempo de indisponibilidad que la máquina se encuentra fuera de servicio, aumentando el costo de intervención, afectando directamente a la producción y al precio unitario del producto.

El cálculo del costo de ciclo de vida y tiempo óptimo de replazo complementaron el análisis de Jack Knife adecuado a este modelo de mantenimiento, permitiendo evaluar que tanto puede afectar un mantenimiento con muchas actividades correctivas por no contar con una estrategia que permita asegurar el tiempo operacional del activo, proponiendo el replazo óptimo en base a la mano de obra y los costos de producción por inactividad.

RECOMENDACIONES

Analizar los datos de tiempo medio para reparar y tiempo medio entre fallas mediante una linealización para determinar que sean datos continuos y descartar datos dispersos que proporcionen cálculos erróneos interviniendo en el análisis a fin de obtener propuestas con alta probabilidad de efectividad.

Implementar el método Jack Knife con mantenimientos preventivos y así mediante el modelo de mantenimiento establecer el tiempo óptimo de inspección para mejorar el plan de mantenimiento.

Realizar variantes en el método de Jack Knife con los datos del historial de fallas, en función del número de técnicos y el tiempo de reparación para evaluar si afecta en las horas de indisponibilidad la cantidad de técnicos que intervienen y gestionar el personal para cada actividad de acuerdo a la criticidad del sistema

Profundizar en el cálculo del costo de ciclo de vida y tiempo óptimo de replazo a través de la recopilación de todos los costos que intervienen en la vida útil del activo, para así realizar un estudio más preciso que permita consolidar este modelo de mantenimiento.

Mejorar esta herramienta y utilizarla como material para preparar a los futuros Ingenieros de Mantenimiento Industrial en el área de la Fiabilidad para que su criterio de análisis de datos sea más técnico abriendo nuevos aspectos del mantenimiento para investigación.

BIBLIOGRAFÍA

BONET BORJAS, C. “Ley De Pareto Aplicada a La Fiabilidad”. *Ingeniería Mecánica* [en línea]. 2005, (Cuba) vol. (8), pp. 1-9. [Consulta: 2020-11-22]. ISSN 1815-5944. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2251/225118188010.pdf>

DÍAZ VALENZUELA, Matías Patricio. Confiabilidad prestado a una planta de remoción de ripio [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile, 2016. pp. 62-65. [Consulta: 2020-12-22]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11673/12696>

DURÁN ORLANDO, M., GONZÁLEZ-PRIDA, V., CRESPO, A. y GUILLÉN, A. “Priorización de Activos Físicos centrado en el Rendimiento Global en una Planta de Chancado”. *Información Tecnológica* [en línea], 2019, (Chile) no.(2), pp. 45-56. [Consulta: 16 diciembre 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000200045>.

FRANCISCO, A. *Ingeniería de confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo*. [en línea]. Elsevier-USA: Reliability and Risk Management, S.A. 2019. [Consulta: 14 diciembre 2020]. Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/ingenieria-de-confiabilidad-pilar-fundamental-del-mantenimiento>

GONZÁLEZ CARRASCO, Marcelo. Estudio de confiabilidad de la línea principal de la planta horcone, aserraderos arauco S.A. [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad del Bio-Bio, Concepcion, Chile, 2015. pp. 1-111. [Consulta: 2021-01-02] Disponible en: http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/2101/1/Melo_Bahamondes_Maria.pdf.

KNIGHTS, P. “Downtime Priorities, Jack-Knife Diagrams, and the Business Cycle”. *Engineering Information Transfer Pty Ltd.* [en línea], 2004, (Australia) vol.(17), pp. 15-22. [Consulta: 14 diciembre 2020]. ISSN: 9781-8795. Disponible en: www.maintsys.com.au

LONDOÑO, C.; & FREIRE, C.; & CUZCO, V. “Metodología para medir la mantenibilidad probabilística aplicada a grupos electrógenos, indicador propuesto para evaluar los retardos”. *ResearchGate*. [en línea], 2018, (Ecuador) vol. (17), pp. 5-7. ISSN 2477-9105. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/348304232_METODOLOGIA_PARA_MEDIR_LA

[MANTENIBILIDAD PROBABILISTICA APLICADA A GRUPOS ELECTROGENOS IN
DICADOR PROPUESTO PARA EVALUAR LOS RETARDOS LOGISTICOS ADMINIS
TRATIVOS](#)

MORA, L. *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control.* [en línea]. México-México: Alfaomega Grupo Editor, 2009. [Consulta: 20 noviembre 2020]. Disponible en : <http://www.alfaomega.com.mx>

MORALES RETAMAL, Sergio Enrique. GENERACIÓN Y DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN BASE A CRITICIDAD, SEGÚN CRITERIOS DE ESTADÍSTICAS DE FALLA EN EMPRESA QUÍMICA CLARIANT. [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. 2017. pp. 254. [Consulta: 2020-11-19]. Disponible en : <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/23029>

PASCUAL, R. *El arte de mantener* [en línea]. Version 2. Santiago, Chile: s.n., 2008. [Consulta: 20 noviembre 2020]. Disponible en : https://es.slideshare.net/r_almeyda/book-el-arte-de-mantener?fbclid=IwAR0Dv04u2kpqeFruMJAMckFDN6yIXHeWUE3e4UfZjYmxqj2do2RcqX_XeiJI

RODRIGUEZ, F. Análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad mediante la aplicación de la distribución de Weibull. estudio de caso separadoras de aceite Westfalia de la empresa Agip Oil Ecuador [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 45-49. [Consulta: 2020-12-17] Disponible en : <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8739>

RODRIGUEZ, F. “Management maintenance in high voltage circuit breakers”. *Ingeniare* [en línea], 2017, (Cuba) vol. (26), pp. 192-202. [Consulta: 17 diciembre 2020]. ISSN 0718-3305. Disponible en : https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052018000200192&lng=es&nrm=iso&tlng=es

ROJAS FERNÁNDEZ, Luis Alfonso. Diseño e Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo del sistema de filtrado de la Empresa Talsa (Fundo UPAO) para incrementar su productividad y reducir costos de operación. [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería)

Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú. 2019. pp. 43-45. [Consulta: 2020-12-19]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/30301>

UNE-EN 13306. *Mantenimiento terminología de mantenimiento.*

VÍLCHEZ, M. “Optimization of the replacement time for critical repairable components”. *DYNA* [en línea], 2020, (Colombia), 87(214), pp. 93-99. [Consulta: 2020-12-19]. ISSN 0012-7353. Disponible en : <http://doi.org/10.15446/dyna.v87n214.84509>

CABRERA HERNÁNDEZ, Marcelo Alejandro. Propuesta de implementación de sistema de reportabilidad basado en indicadores de desempeño para línea de embalaje en celulosa ARAUCO Planta Nueva Aldea. [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Técnica Federico SantaMaría, Viña del Mar, Chile. 2019. pp. 33-55. [Consulta: 2020-12-15]. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/48113>

VIVEROS, P. “Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo”. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* [en línea] , 2012, (Chile) 21(1), pp. 125-138. [Consulta: 2021-01-15]. ISSN 1340-6790. Disponible en: DOI: [10.4067/s0718-33052013000100011](https://doi.org/10.4067/s0718-33052013000100011)

ANEXOS

ANEXO A: Datos técnicos de la máquina.

DATOS DE MÁQUINA		
POTENCIAS MOTRICES		
Pasada de trituración	máx. 50kW	ADQUISICIÓN: \$300.000,00
Pasada de reducción	máx. 22kW	
NÚMERO DE REVOLUCIONES PARA CILINDROS EN FUNCIÓN DE LA PASADA		
Cilindro Ø 250:	380 - 870 rpm	
Cilindro Ø 300:	320 - 670 rpm	
POLEAS DE MANDO PARA EL MANDO PRINCIPAL		
Ø 355 con 4, 6 y 8 ranuras para correas trapecoidales estrechas SPB		
TRANSMISIÓN DE LOS CILINDROS		
Ejecución con ruedas dentadas en fundición gris o fundición especial, en función de la carga prevista		
Transmisión de cilindros según la pasada		
TIPO DE CILINDRO	Cilindro Ø 250:	Cilindro Ø 300:
Cilindros Estriados	I: 2.6	I: 3
Cilindros Lisos	I: 1.25 i: 1.5	I: 1.28

ANEXO B: Tablas dinámicas de cálculo de horas de mantenimiento preventivo y correctivo.

Suma de Tiempo	Etiquetas de columna									
Etiquetas de fila	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Total general	
Cilindros neumaticos		4		2	5,5				11,5	
Eléctrico			16						16	
Micro-switch		0,5		0,5		0,33		0,5	1,833333333	
Rascador de cepillo			7		6		6		19	
Rodillos de alimentacion		0,25		7	4,5	0,5	3,5	16	31,75	
Rodillos de trituracion								13,2	13,2	
Transmision por bandas		1,5		2					3,5	
Total general		1,5	4,75	25	9,5	16	0,83	9,5	29,7	96,78333333

Suma de Tiempo	Etiquetas de columna									
Etiquetas de fila	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Total general	
Cilindros neumaticos		1,000	3,000		2,000				6,000	
Rasacador de cuchillos		2,000							2,000	
Rodillos de alimentacion		1,000	5,000	4,000	4,000	4,000	6,000		24,000	
Rodillos de trituracion		4,000	4,000	4,000	2,000	2,000	6,000	1,000	23,000	
Transmision por engranajes						3,000			3,000	
Transmision por ruedas dentadas		3,500				2,000			5,500	
Total general		11,50	7,00	9,00	8,00	6,00	9,00	12,00	1,00	63,50

ANEXO C: Tablas dinámicas de cálculo de costos de mantenimiento preventivo y correctivo.

Mano de obra

SISTEMAS	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Total general
Cilindros neumaticos		\$49		\$24	\$86				\$159
Eléctrico			\$489						\$489
Micro-switch		\$3		\$3		\$2		\$3	\$11
Rascador de cepillo			\$171		\$147		\$147		\$464
Rodillos de alimentacion		\$3		\$86	\$55	\$6	\$43	\$489	\$681
Rodillos de trituracion								\$161	\$161
Transmision por bandas	\$37		\$49						\$86
Total general	\$37	\$55	\$709	\$113	\$287	\$8	\$189	\$653	\$2.051

Materiales

SISTEMAS	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Total general
Cilindros neumaticos		\$22		\$206	\$170				\$398
Eléctrico			\$2.333						\$2.333
Micro-switch		\$9		\$9		\$9		\$9	\$37
Rascador de cepillo			\$15		\$15		\$15		\$45
Rodillos de alimentacion		\$105		\$9	\$158	\$105	\$105	\$1.168	\$1.651
Rodillos de trituracion								\$737	\$737
Transmision por bandas	\$48		\$48						\$96
Total general	\$48	\$136	\$2.396	\$225	\$342	\$115	\$120	\$1.914	\$5.297

Costo intervención

SISTEMAS	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Total general
Cilindros neumaticos		\$71		\$231	\$255				\$557
Eléctrico			\$2.822						\$2.822
Micro-switch		\$12		\$12		\$11		\$12	\$49
Rascador de cepillo			\$186		\$162		\$162		\$509
Rodillos de alimentacion		\$108		\$94	\$213	\$111	\$148	\$1.657	\$2.332
Rodillos de trituracion								\$898	\$898
Transmision por bandas	\$85		\$97						\$182
Total general	\$85	\$191	\$3.105	\$338	\$630	\$123	\$310	\$2.567	\$7.348

Suma de Ch/h	Etiquetas de columna	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Total general
Etiquetas de fila	2004								
Cilindros neumaticos		\$6	\$37		\$18				\$61
Rasacador de cuchillos		\$12							\$12
Rodillos de alimentacion		\$6		\$37	\$37	\$24	\$49	\$37	\$189
Rodillos de trituracion		\$24	\$24	\$49	\$24	\$12		\$61	\$202
Transmision por engranajes							\$18		\$18
Transmision por ruedas dentadas		\$21					\$24		\$46
Total general		\$70	\$61	\$86	\$79	\$37	\$92	\$98	\$529

Suma de Precio total	Etiquetas de columna	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Total general
Etiquetas de fila	2004								
Cilindros neumaticos		6,19	13,3		2				21
Rasacador de cuchillos		50							50
Rodillos de alimentacion		35	52,7404	48	23,1354	55,704	61,138		276
Rodillos de trituracion		48	88,72	59,41	24	24	30,190	24	298
Transmision por engranajes						24,76			25
Transmision por ruedas dentadas		7,19				37,14			44
Total general		146,38	102,01	112,15	74,00	47,14	117,60	91,33	714,6088353

ANEXO D: Historial de fallas de mantenimiento preventivo y correctivo.

Sistema	Di	Fec	Tic	Actividad/Modo de falla	Tecni	Tip	H/H	Ch/	Materiales/Repuestos	Cantid	Unid	Precio unitario	Precio total
Rodillos de trituracion	10	abr-04	2	Calibracion del embrague de los rodillos	1	P	2	\$ 12,22	Llaves de ajuste	2	und	\$ 12,00	\$ 24,00
Transmision por ruedas dentadas	6	jul-04	2	Limpieza de engranajes y de valvula de embolo	1	P	2	\$ 12,22	aire comprimido	1	und	\$ 1,00	\$ 1,00
Rasacador de cuchillos	6	jul-04	2	Limpieza de visor, chuchillas y cepillo	1	P	2	\$ 12,22	aire comprimido	50	kg/cm³	\$ 1,00	\$ 50,00
Transmision por ruedas dentadas	7	jul-04	1,5	Cambio de aceite 460	1	P	1,5	\$ 9,17	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 420,90	\$ 6,19
Rodillos de trituracion	11	sep-04	2	Calibracion del embrague de los rodillos	1	P	2	\$ 12,22	Llaves de ajuste	2	und	\$ 12,00	\$ 24,00
Rodillos de alimentacion	30	dic-04	1	samblasteado en rodillo C1-C2	1	P	1	\$ 6,11	Arena	1	und	\$ 35,00	\$ 35,00
Cilindros neumaticos	31	dic-04	1	Limpieza de piston neumatico y finales de carrera	1	P	1	\$ 6,11	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 420,90	\$ 6,19
Rodillos de trituracion	23	abr-05	2	Calibracion del embrague de los rodillos	1	P	2	\$ 12,22	Llaves de ajuste	2	und	\$ 35,00	\$ 70,00
Cilindros neumaticos	7	jun-05	2	Limpieza de cilindro neumatico que acciona el final de carrera	2	P	4	\$ 24,44	aire comprimido	0,25	kg/cm³	\$ 483,12	\$ 7,10
Rodillos de trituracion	27	oct-05	2	Calibracion del embrague de los rodillos	1	P	2	\$ 12,22	Llaves de ajuste	2	und	\$ 9,36	\$ 18,72
Cilindros neumaticos	13	dic-05	1	neumáticos y lubricación	2	P	2	\$ 12,22	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 420,90	\$ 6,19
Rodillos de trituracion	17	ene-06	1	Mantenimiento de rodillos y vaso	1	P	1	\$ 6,11	aire comprimido	1	kg/cm³	\$ 34,41	\$ 34,41
Rodillos de trituracion	5	#####	1	Mantenimiento de rodillos y vaso	1	P	1	\$ 6,11	aire comprimido	1	kg/cm³	\$ 1,00	\$ 1,00
Rodillos de alimentacion	5	abr-06	1	Mantenimiento de rodillos y vaso	2	P	2	\$ 12,22	aire comprimido	1	kg/cm³	\$ 31,00	\$ 31,00
Rodillos de trituracion	9	oct-06	2	Calibración del embrague de rodillos	3	P	6	\$ 36,66	Llaves de ajuste	2	und	\$ 12,00	\$ 24,00
Rodillos de alimentacion	27	#####	4	Engrasado	1	P	4	\$ 24,44	Grasa	45	gramos	\$ 483,12	\$ 21,74
Rodillos de trituracion	9	#####	2	embrague de los rodillos	2	P	4	\$ 24,44	Llaves de ajuste	2	und	\$ 12,00	\$ 24,00
Cilindros neumaticos	6	sep-07	1	conmutación neumática	2	P	2	\$ 12,22	aire comprimido	1	kg/cm³	\$ 1,00	\$ 1,00
Cilindros neumaticos	6	sep-07	1	Limpieza de cañerías neumáticas	1	P	1	\$ 6,11	aire comprimido	1	kg/cm³	\$ 1,00	\$ 1,00
Rodillos de alimentacion	3	#####	2	embrague de los rodillos	1	P	2	\$ 12,22	Llaves de ajuste	2	und	\$ 12,00	\$ 24,00
Rodillos de alimentacion	1	#####	2	Engrasado de rodamientos	1	P	2	\$ 12,22	grasa de litio	45	gramos	\$ 31,00	\$ 1,40
Rodillos de alimentacion	22	jul-07	2	Calibración del embrague de rodillos	2	P	4	\$ 24,44	Llaves de ajuste	2	und	\$ 12,00	\$ 24,00
Rodillos de trituracion	14	oct-08	2	embrague de los rodillos	1	P	2	\$ 12,22	Llaves de ajuste	2	und	\$ 12,00	\$ 24,00
Rodillos de alimentacion	24	oct-08	2	Engrasado de rodamientos	1	P	2	\$ 12,22	grasa	45	gramos	\$ 483,12	\$ 21,74
Rodillos de alimentacion	6	feb-09	1	Cambio de aceite y nivelación	3	P	3	\$ 18,33	Aceite meropa 460	0,5	litro	\$ 420,90	\$ 12,38
Rodillos de alimentacion	3	jun-09	2	embrague de los rodillos	2	P	4	\$ 24,44	Llaves de ajuste	2	und	\$ 12,00	\$ 24,00
Transmision por ruedas dentadas	3	jul-09	2	Engrasado	2	P	4	\$ 24,44	Aceite meropa 460	1,5	litro	\$ 420,90	\$ 37,14
Rodillos de alimentacion	3	jul-09	1	Cambio de aceite en la transmision de rodillos de alimentacion	1	P	1	\$ 6,11	grasa EP 62	40	gramos	\$ 483,12	\$ 19,32
Transmision por engranajes	27	jul-09	1	transmision de engranajes	1	P	1	\$ 6,11	Aceite meropa 220	0,75	litro	\$ 420,90	\$ 18,57
Transmision por engranajes	22	dic-09	2	Engrasado	1	P	2	\$ 12,22	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 420,90	\$ 6,19
Rodillos de alimentacion	2	feb-10	2	Cambio de aceite total	1	P	2	\$ 12,22	Aceite meropa 460	1,5	litro	\$ 420,90	\$ 37,14
Rodillos de trituracion	3	#####	4	embrague de los rodillos	2	P	8	\$ 48,88	Llaves de ajuste	2	und	\$ 12,00	\$ 24,00
Rodillos de trituracion	4	oct-10	2	Engrasado	1	P	2	\$ 12,22	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 420,90	\$ 6,19
Rodillos de alimentacion	20	dic-10	4	embrague de los rodillos	1	P	4	\$ 24,44	Llaves de ajuste	2	und	\$ 12,00	\$ 24,00
Rodillos de trituracion	19	jul-11	1	embrague de los rodillos	1	P	1	\$ 6,11	Llaves de ajuste	2	und	\$ 12,00	\$ 24,00

Sistema	Dia	Fecha	TBF	Tiempo	Actividad/Modo de falla	Técnicos	Tip	H/h	Ch/h	Materiales/Repuestos	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio total
Transmision por bandas	2	feb-04	792	1,5	Cambio de bandas quemadas	4	C	6	\$ 36,66	bandas	1	und	\$ 48,00	\$ 48,00
Rodillos de alimentacion	17	mar-05	7593	0,25	Control y relleno de nivel de aceite	2	C	0,5	\$ 3,06	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 420,90	\$ 105,23
Cilindros neumaticos	25	jun-05	2400	4	Cambio de valvula de embolo y engrase	2	C	8	\$ 48,88	Grasa	45	gramos	\$ 483,12	\$ 21,74
Micro-switch	29	oct-05	3024	0,5	Cambio de micro-switch neumatico	1	C	0,5	\$ 3,06	Micro-switch	1	und	\$ 9,36	\$ 9,36
Rascador de cepillo	17	ene-06	1920	7	Cambio de cepillos	4	C	28	\$ 171,08	cepillo	1	und	\$ 15,00	\$ 15,00
Eléctrico	3	oct-06	6192	16	Cambio de motor trifásico quemado	5	C	80	\$ 488,80	Motor trifasico jaula de ardilla	1	und	\$ 2.333,19	\$ 2.333,19
Transmision por bandas	23	nov-06	1224	2	Cambio de bandas quemadas	4	C	8	\$ 48,88	bandas	1	und	\$ 48,00	\$ 48,00
Micro-switch	12	mar-07	2616	0,5	Cambio de micro-switch neumatico	1	C	0,5	\$ 3,06	Micro-switch	1	und	\$ 9,36	\$ 9,36
Cilindros neumaticos	16	may-07	1560	2	Cambio de orings de piston neumatico	2	C	4	\$ 24,44	orings	6	und	\$ 34,41	\$ 206,46
Rodillos de alimentacion	30	jun-07	1080	4	Relleno de nivel de aceite	2	C	8	\$ 48,88	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 17,64	\$ 4,41
Rodillos de alimentacion	22	dic-07	4200	3	Relleno de nivel de aceite	2	C	6	\$ 36,66	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 17,64	\$ 4,41
Cilindros neumaticos	4	ene-08	312	4	Cambio de piezas de los cilindros neumaticos	2	C	8	\$ 48,88	sellos y empaquetaduras	2	und	\$ 77,33	\$ 154,66
Rodillos de alimentacion	1	feb-08	672	0,5	Relleno de nivel de aceite	2	C	1	\$ 6,11	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 420,90	\$ 105,23
Rascador de cepillo	17	jul-08	4008	6	Cambio de cepillos	4	C	24	\$ 146,64	cepillo	1	und	\$ 15,00	\$ 15,00
Cilindros neumaticos	1	ago-08	360	1,5	Cambio de mangueras de aire por rotura	4	C	6	\$ 36,66	manguera	1	metro	\$ 14,93	\$ 14,93
Rodillos de alimentacion	28	ago-08	648	4	Relleno de nivel de aceite de transmision de rodillos de alimentacion	2	C	8	\$ 48,88	Aceite meropa 460	0,125	litro	\$ 420,90	\$ 52,61
Micro-switch	20	abr-09	5640	0,33	Cambio de micro-switch neumatico	1	C	0,333333	\$ 2,04	Micro-switch	1	und	\$ 9,36	\$ 9,36
Rodillos de alimentacion	22	dic-09	5904	0,5	Relleno de nivel de aceite	2	C	1	\$ 6,11	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 420,90	\$ 105,23
Rodillos de alimentacion	4	oct-10	6864	3,5	Relleno de nivel de aceite en la transmision de rodillos de alimentacion	2	C	7	\$ 42,77	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 420,90	\$ 105,23
Rascador de cepillo	17	nov-10	1056	6	Cambio de cepillos	4	C	24	\$ 146,64	cepillo	1	und	\$ 15,00	\$ 15,00
Micro-switch	12	mar-11	2760	0,5	Cambio de micro-switch neumatico	1	C	0,5	\$ 3,06	Micro-switch	1	und	\$ 9,36	\$ 9,36
Rodillos de trituracion	5	abr-11	576	2,5	Relleno de nivel de aceite por fuga	2	C	5	\$ 30,55	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 420,90	\$ 105,23
Rodillos de trituracion	5	may-11	720	2	Relleno de nivel de aceite por fuga	2	C	4	\$ 24,44	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 420,90	\$ 105,23
Rodillos de trituracion	5	jun-11	720	2	Relleno de nivel de aceite por fuga	2	C	4	\$ 24,44	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 420,90	\$ 105,23
Rodillos de trituracion	5	jul-11	720	1,8	Relleno de nivel de aceite por fuga	2	C	3,6	\$ 22,00	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 420,90	\$ 105,23
Rodillos de trituracion	5	ago-11	720	1,5	Relleno de nivel de aceite por fuga	2	C	3	\$ 18,33	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 420,90	\$ 105,23
Rodillos de trituracion	5	sep-11	720	1,5	Relleno de nivel de aceite por fuga	2	C	3	\$ 18,33	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 420,90	\$ 105,23
Rodillos de trituracion	5	oct-11	720	1,9	Relleno de nivel de aceite por fuga	2	C	3,8	\$ 23,22	Aceite meropa 460	0,25	litro	\$ 420,90	\$ 105,23
Rodillos de alimentacion	5	oct-11	720	16	Cambio de rodamientos por quemadura	5	C	80	\$ 488,80	rodamiento	4	und	\$ 292,10	\$ 1.168,40

